

# UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE PSICOLOGÍA  
Departamento de Psicología Básica II  
(Procesos Cognitivos)



## TESIS DOCTORAL

**Psico-A: un sistema computacional para la enseñanza de la psicología**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Carlos Pelta Resano**

Director

Javier González Marqués

**Madrid, 2015**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE PSICOLOGÍA  
Departamento de Psicología Básica II  
(Procesos Cognitivos)**



**PSICO-A: UN SISTEMA COMPUTACIONAL PARA  
LA ENSEÑANZA DE LA PSICOLOGÍA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR**

**Carlos Pelta Resano**

Bajo la dirección del Doctor

Javier González Marqués

**Madrid, 2015**

Universidad Complutense de Madrid  
Facultad de Psicología

Departamento de Psicología Básica II (Procesos Cognitivos)

# PSICO-A: UN SISTEMA COMPUTACIONAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA PSICOLOGÍA



TESIS DOCTORAL

Carlos Pelta Resano

Madrid, Junio 2015

Universidad Complutense de Madrid  
Facultad de Psicología

Departamento de Psicología Básica II (Procesos Cognitivos)

# PSICO-A: UN SISTEMA COMPUTACIONAL PARA LA ENSEÑANZA DE LA PSICOLOGÍA

Director:

Javier González Marqués

Autor:

Carlos Pelta Resano

Madrid, Junio 2015



# **AGRADECIMIENTOS**

En primer término, deseo dar las gracias a mi director de Tesis, el Dr. Javier González Marqués, catedrático del Departamento de Psicología Básica II (Procesos Cognitivos) de la Universidad Complutense de Madrid. Sin su apoyo, su paciencia, su exigente capacidad intelectual y su ejemplar ética de trabajo, esta Tesis Doctoral nunca habría salido adelante.

Mis compañeros del Departamento Didáctico de Filosofía del IES “Francisco Giner de los Ríos” (Alcobendas), Irene García y Agustín Villarta, así como el profesor Luis Carlos Yepes, del Departamento Didáctico de Filosofía del IES “Juan de Mairena” (San Sebastián de los Reyes), fueron decisivos para la realización del experimento que es la base de este trabajo de Doctorado. A ellos mi agradecimiento. Como también agradezco a todos los alumnos el que se prestaran a participar en tal experimento.

Agradezco al Dr. Andrés Leonardo Sclipa su ayuda en la programación de PSICO-A. Sin sus consejos para solucionar algunos errores que se fueron presentando en la misma, todo habría sido más difícil y costoso.

Finalmente, mi agradecimiento más sentido y profundo, para mi hermana Raquel y mis padres Ofelia y Adolfo. Mi padre falleció durante la redacción de este trabajo por lo que no pudo verlo culminado. A él va especialmente dedicado.

Los contenidos de esta Tesis Doctoral se hallan parcialmente publicados en:

González Marqués J y Pelta C (2013). PSICO-A: a computational system for learning psychology. *IJMECS*, 5, 1-8. DOI:10.5815/ijmecs.2013.10.01.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO</b> .....	6
<b>CAPÍTULO 1. PRINCIPIOS DE APRENDIZAJE PARA LA ENSEÑANZA DE LA PSICOLOGÍA</b> .....	8
<b>1. Introducción</b> .....	9
<b>2. Principios teóricos de PSICO-A</b> .....	17
2.1. Representación del conocimiento y diseño de entornos inteligentes de aprendizaje .....	17
2.2. Modelo global de la Metacognición (MGM) .....	28
2.3. Instrumentos de evaluación de la Metacognición .....	46
2.4. Cuestionario de evaluación del modelo global de la Metacognición (CEMGM) .....	52
2.5. Juicios de confianza .....	67
2.6. Recuperación libre de los contenidos y mejora del aprendizaje .....	68
<b>CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE APRENDIZAJE BASADOS EN AGENTES (SABAs)</b> .....	72
<b>1. Una introducción a los Sistemas Tutores Inteligentes (STIs)</b> .....	73
<b>2. Sistemas Tutores Inteligentes Metacognitivos</b> .....	77
2.1.El Asistente para la Reflexión .....	78

2.2. MetaTutor .....	87
2.3. Dos sistemas de aprendizaje basados en agentes .....	93
2.3.1. Betty's Brain .....	93
2.3.2. REAL .....	103

<b>CAPÍTULO 3. SNIFFY, LA RATA VIRTUAL: UN PROGRAMA PARA LA ENSEÑANZA DEL APRENDIZAJE CONDICIONADO .....</b>	<b>112</b>
--	------------

<b>CAPÍTULO 4. PSICO-A: LOS FUNDAMENTOS DE SU DISEÑO Y DE SU ARQUITECTURA COMPUTACIONAL .....</b>	<b>118</b>
1. El "front-end" de PSICO-A .....	119
2. El "back-end" de PSICO-A .....	128
3. Arquitectura computacional de PSICO-A .....	136
4. Fundamentos del uso del "feedback" en PSICO-A .....	139
5. Diseño del módulo metacognitivo en PSICO-A .....	141

<b>CAPÍTULO 5. SIMULACIONES Y JUEGOS DIGITALES EN LA ENSEÑANZA .....</b>	<b>143</b>
1. Principios de aprendizaje en simulaciones .....	147
2. Principios de aprendizaje en juegos digitales .....	148
3. Medida de la efectividad del aprendizaje en simulaciones y juegos.....	149
4. Efectos neurológicos de los juegos digitales .....	150

<b>CAPÍTULO 6. ELABORACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA</b>	
<b>PARA PSICO-A</b> .....	155
 <b>CAPÍTULO 7. ESTUDIO EXPERIMENTAL</b> .....	163
<b>1. Hipótesis</b> .....	164
<b>2. Método</b> .....	165
2.1. Participantes .....	165
2.2. Materiales y Procedimiento .....	165
2.3. Resultados.....	167
2.3.1. Pre-tratamiento.....	168
2.3.2. Post-tratamiento.....	169
2.3.3. Test de seguimiento.....	175
<b>3. Evaluación externa</b> .....	184
<b>4. Discusión</b> .....	185
4.1. Hipótesis (a) .....	185
4.2. Hipótesis (b) .....	189
4.3. Hipótesis (c) .....	195
 <b>CONCLUSIONES</b> .....	197
 <b>CONCLUSIONS</b> .....	201
 <b>REFERENCIAS</b> .....	203

**ANEXO 1** ..... 223

**ANEXO 2** ..... 228

**ANEXO 3**  
..... 239

**ANEXO 4** ..... 243

**ANEXO 5**  
..... 247

**ANEXO 6**  
..... 253

**ANEXO 7**  
..... 265

**ANEXO 8**  
..... 280

# RESUMEN



PSICO-A es un nuevo sistema informático para la enseñanza de la Psicología. Está especialmente destinado a estudiantes de Educación Secundaria y a estudiantes del primer curso del Grado de la especialidad. Es un sistema innovador porque es, hasta donde tiene noticia el autor de este trabajo doctoral, el primer sistema integrado computacional concebido para la enseñanza de Unidades Didácticas de Psicología. Otros sistemas como, por ejemplo, *Sniffy*, funcionan como entornos de aprendizaje para parcelas concretas de la materia (el condicionamiento, en este caso) pero ninguno se ha planteado hasta ahora como un sistema para la enseñanza de un temario de Psicología. En el ámbito educativo abundan sistemas que emplean entornos virtuales para la enseñanza de las Matemáticas, la Física o la Ecología a alumnos de Primaria. PSICO-A combina juegos digitales y simulaciones para la enseñanza de la Psicología, favoreciendo la importancia de las imágenes y los modelos mentales para el aprendizaje. Pero PSICO-A es mucho más porque integra más herramientas e influencias didácticas: introduce mapas conceptuales, recuperación libre del recuerdo, un mecanismo efectivo de “feedback” para las respuestas de los estudiantes, una visión activa del proceso de enseñanza-aprendizaje e indaga sobre la capacidad metacognitiva para el estudio. Su arquitectura computacional también es interesante: está organizada modularmente y ayuda mucho a la recogida de datos por parte del profesor al disponer de un mecanismo muy potente de discriminación de los conceptos introducidos por los alumnos en la prueba de recuerdo libre.

Hemos procedido a evaluar, tanto internamente como externamente, este Sistema. En la evaluación interna, hemos comparado el rendimiento en el aprendizaje de tres grupos de alumnos de Educación Secundaria: un grupo control recibió una clase convencional y estudió un apartado de una Unidad Didáctica de la materia de Psicología de Segundo de Bachillerato y los otros dos grupos experimentales tuvieron que manejar PSICO-A (subdivididos en un grupo que hubo de interactuar con el Juego y otro que solo pudo tener acceso a la Simulación). Los resultados han confirmado una mejora significativa en numerosas variables del aprendizaje de los alumnos que han usado PSICO-A con respecto a aquellos alumnos que han sido expuestos al sistema tradicional

de enseñanza-aprendizaje. Desde el punto de vista de la evaluación externa, nuestro Sistema ha tenido una aceptación positiva por la mayoría de los estudiantes consultados. Aunque PSICO-A es un sistema dúctil y bastante efectivo, teniendo en cuenta que forma parte de una gama media de diseño y no muy costosa, debe en un futuro inmediato incluir elementos procedentes de las plataformas tecnológicas y de la Web semántica para afrontar los desafíos educativos más actuales.

## **ABSTRACT**

PSICO-A is a new educational system, based on the web, for teaching psychology. It is an innovative system because is the first system in psychology designed for learning the subject. Other systems use several tools for teaching subjects like mathematics, physics or ecology, for instance, to children but to use computational systems for learning psychology is to date an unexplored field. PSICO-A is based on many pedagogical influences, such as representational theory, mental models, concept maps, metacognition, free retrieval practice and constructivism. Besides its computational architecture is interesting because is composed of interconnected modules sequencing the tasks and because its back-end is a powerful tool for analysing the performance of pupils: it assembles Boolean equations introducing algorithms such as those of Levenshtein, Hamming, Porter and Oliver for selecting concepts written by students.

We conducted an internal evaluation of the system comparing the learning outcomes of three groups corresponding to high-school students. Students in the first group were provided with text-based resources and the other experimental conditions involved students who worked in collaboration with PSICO-A (plus game or plus simulation). PSICO-A improved the learning and its motivational value was high. Further studies are required for constructing an augmented system including technological platforms and the impact of the Web 3.0.

## JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Pese a la existencia de sistemas que enseñan mediante ordenador las más diversas disciplinas a estudiantes de todo el mundo, se da una sorprendente carencia en el ámbito de la Psicología. Es verdad que, a lo largo de los años, han ido apareciendo algunos sistemas informáticos que se han ocupado de introducir a los alumnos en parcelas concretas de la materia, como el condicionamiento en animales (*Sniffy*) o la realización de experimentos de laboratorio, pero sorprende la carencia de herramientas informáticas destinadas al aprendizaje de Unidades Didácticas en Psicología, a diferencia de lo que sucede en materias como Física, Matemáticas o Biología. Es ampliamente reconocido el valor que en las últimas décadas está suponiendo la aplicación de los ordenadores y la revolución de INTERNET al terreno educativo, tanto en el aspecto motivacional como en el del aprendizaje intrínseco. Sistemas Tutores Inteligentes, plataformas tecnológicas, juegos y entornos virtuales de aprendizaje están siendo muy beneficiosos tanto en la enseñanza presencial como en la Educación a Distancia. Pues bien, la didáctica de la Psicología no podría ser una excepción y a remediar tal circunstancia está destinada esta Tesis de Doctorado. Hemos diseñado un sistema de aprendizaje por ordenador con la finalidad de instruir a alumnos de Secundaria y, quizá de los primeros cursos del Grado de Psicología, en un programa lectivo de la materia. El Sistema se llama PSICO-A y presenta aspectos interesantes tanto en su organización como en su estructura computacional y en sus influencias pedagógicas. Integra en una sola herramienta principios reconocidos como valiosos en la Psicología educacional y en la Neurociencia de hoy, como el uso de mapas conceptuales, la importancia del recuerdo libre y de la metacognición o el valor de simulaciones y juegos para generar modelos mentales y para motivar a los estudiantes. En una evaluación experimental interna y en una evaluación externa, PSICO-A ha demostrado mejorar el rendimiento de los alumnos frente a los alumnos que recibieron la clase tradicional de exposición y explicación de dudas. En múltiples parámetros que van desde el desarrollo de una mayor retentividad conceptual hasta una mayor comprensión de la riqueza de las relaciones

entre conceptos, PSICO-A ha mostrado su efectividad. Queda, no obstante, mucho camino por recorrer en la didáctica de la Psicología que pasa por la creación de plataformas tecnológicas, la introducción de comunidades de aprendizaje, vía INTERNET, y el desarrollo de sistemas que acojan ideas procedentes de la Web 3.0.

# **CAPÍTULO 1. PRINCIPIOS DE APRENDIZAJE PARA LA LA ENSEÑANZA DE LA PSICOLOGÍA**

# 1. INTRODUCCIÓN

En la década de los años 50 del siglo pasado y, en parte, como influencia del paradigma conductista dominante en Psicología y en Educación (Skinner, 1958) y la irrupción de la Inteligencia Artificial (Turing, 1950), empezó a valorarse el interés de aplicar sistemas computacionales que sirvieran de apoyo a la Instrucción de los alumnos. Por influencia, sobre todo de Skinner en los Estados Unidos, los sistemas de autoaprendizaje pululaban por doquier, comprobando el rendimiento de los alumnos mediante baterías de preguntas, normalmente de tipo test y opción múltiple. Los errores eran penalizados y se insistía en la fuerza del estímulo de refuerzo para la mejora del aprendizaje. Por otro lado, Turing, Newell, Minsky y otros empezaban a sugerir que las máquinas de computación algún día podrían simular la inteligencia humana. En este contexto de influencias entrecruzadas, surgieron los primeros sistemas de Enseñanza asistida por ordenador. Se trataba de simples programas lineales (Zavaleta y Vasconcelos de Andrade, 2003), llamados así porque presentaban al alumno los conocimientos siguiendo un orden lineal o preestablecido por el programador, intocable por el alumno y con toda la interactividad posible reducida a la exhibición de sus errores cometidos y sus respuestas correctas. El alumno debía seguir repasando hasta dominar el tema y acertar todas las baterías de preguntas presentadas. Eso sí, el “feedback” era instantáneo y, en consonancia con los principios pedagógicos *behavioristas*, las respuestas correctas eran reforzadas de inmediato, con alguna felicitación de por medio. Hasta una década después, en línea también con los progresos en el diseño de las arquitecturas de los ordenadores y de nuevos lenguajes de programación, no empezará a considerarse que la forma de llegar a las respuestas por los alumnos pueda aportar pistas muy interesantes para la creación de nuevos sistemas computacionales para la enseñanza. A su vez, comenzaba a verse con claridad la necesaria naturaleza evolutiva del aprendizaje. Los sistemas de “programación ramificada” (Zavaleta y Vasconcelos de Andrade, 2003, p. 4) utilizaban técnicas de ajuste a patrones o “pattern matching”, evitando el todo o nada skinneriano de la respuesta correcta o incorrecta; es decir, el sistema



animaba a los alumnos a perfilar sus respuestas parcialmente correctas. A finales de la mencionada década tomaron el relevo nuevos sistemas computacionales denominados “sistemas adaptativos”, llamados así por ser concebidos para adaptarse a las necesidades de los estudiantes. Se buscaba generar problemas que estuvieran en lo que Vygotsky (1932/1979) consideraría la “zona de desarrollo próximo” del aprendizaje del alumno, diagnosticando su respuesta como conveniente o inconveniente con respecto a ese nivel. Precisamente, a finales de la década de los años 70 se pusieron las bases para el desarrollo de los Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), el tipo de sistema de enseñanza asistida por ordenador que se impondría en los 80 del siglo pasado y que todavía rige en nuestros días. Desde el punto de vista conceptual, son deudores del paradigma de la Psicología Cognitiva-que ya había ganado la batalla al Conductismo en el ámbito académico- y, más concretamente, del Constructivismo de raíces piagetianas así como de las ideas de Chomsky y de Newell sobre el procesamiento simbólico de la información (Zavaleta y Vasconcelos de Andrade, 2003). Los psicólogos cognitivos admiten que aprendemos de la experiencia pero que es el sujeto quien *construye* el conocimiento del mundo externo, en función de su propia organización cognitiva interna. El sujeto interpreta la realidad y proyecta sobre ella los significados que construye. Ausubel (1968), heredero de Piaget y adalid de la Teoría del Aprendizaje Significativo, es el autor que más ha sido tenido en cuenta a la hora de suministrar una base teórica para el diseño de STIs.

En la teoría de Ausubel se considera que el factor más importante que influye en el aprendizaje de un alumno es conocer lo que éste ya sabe. De esta manera, el aprendizaje resulta ser significativo cuando los contenidos a enseñar se relacionan de un modo no arbitrario con lo que el alumno ya sabe. La nueva información se conecta con algún concepto relevante que preexiste en la estructura cognitiva del alumno, esto es, los nuevos conceptos y proposiciones son aprendidos significativamente en la medida en que encuentran un anclaje en los conceptos y proposiciones relevantes que estén ya disponibles en la estructura cognitiva del sujeto en cuestión (Ausubel, 2002). Así pues, al producirse una interacción entre los conocimientos anteriores y las

nuevas informaciones recibidas, las nuevas informaciones adquieren un significado y son integradas de una forma sustancial, favoreciendo la estabilidad y la evolución de los elementos preexistentes. A diferencia de este aprendizaje, en el aprendizaje repetitivo la nueva información es almacenada arbitrariamente (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983), operando en una especie de vacío cognitivo.

Un ejemplo de aprendizaje significativo puede ser, en ciertos contextos, el aprendizaje por descubrimiento. En este tipo de aprendizaje el alumno reordena la información y la reorganiza, integrándola en su estructura cognitiva<sup>1</sup>.

El aprendizaje significativo puede serlo de representaciones, conceptos y proposiciones. El lector puede suponer que las representaciones del conocimiento en boga por aquella época, bien fueran mapas conceptuales (Novak, 1977), redes semánticas (Collins y Lotus, 1975), guiones (Schank y Abelson, 1977) u otras, cuadraban a la perfección con la idea del conocimiento como manipulación de símbolos mediante reglas, esto es, con el paradigma simbólico del procesamiento de la información, encarnado por Newell y Simon (1972).

El término “Sistema Tutor Inteligente” fue acuñado por Sleeman y Brown (1982) con la finalidad de incidir en la aplicación de técnicas de Inteligencia Artificial a su diseño así como para diferenciar los nuevos sistemas de los antiguos sistemas de programación lineal y, por lo tanto, no “inteligente”. Aunque existen casi tantas definiciones como autores, a nosotros nos convence la siguiente definición de Zhang, Cheung y Hui (2001, p. 2130): “los Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) son programas de ordenador que incorporan técnicas de Inteligencia Artificial y cuyo propósito es hacer que el sistema de enseñanza sea más adaptable a los estudiantes, explorando sus

---

<sup>1</sup> El aprendizaje por descubrimiento no ha de ser forzosamente significativo y el aprendizaje repetitivo no ha de ser necesariamente mecánico. Y así, una ley científica puede ser recibida por el alumno sin ser descubierta por él mismo; simplemente basta con que en su estructura cognitiva existan los previos conocimientos.

necesidades e intereses, tal y como podría hacer un docente humano.” Siguiendo a Jonassen y Reeves (1996) y a Urretavizcaya (2001), podríamos sintetizar así los requisitos que ha de reunir un Sistema Tutor para ser considerado inteligente: (a) el sistema puede realizar inferencias y resolver problemas a partir de los contenidos dados; (b) la secuencia de la enseñanza no está predeterminada por el programador; (c) el proceso de enseñanza es adaptable al alumno y (d) existe comunicación entre el alumno y el sistema, el cual actúa como un auténtico Tutor que va supervisando el proceso de aprendizaje.

En términos muy generales, los STIs suelen constar de un Módulo Tutor, un Módulo Experto, un Módulo para el Estudiante y un Módulo para la Interfaz. El Módulo para la Interfaz aporta los procedimientos para que el estudiante interactúe con el Sistema, a través del uso de gráficos y de otros recursos que le introducen a la realización de la tarea. El Módulo para el Estudiante hace uso de un modelo que contiene descripciones de los conocimientos del mismo, incluyendo sus errores y falsas atribuciones más frecuentes. El Módulo Experto contiene una descripción del conocimiento y de las conductas del experto en la materia objeto de instrucción. Finalmente, el Módulo Tutor elige la acción adecuada para ayudar al estudiante, bien sea corrigiendo los errores, aportándole más información o facilitándole las pistas necesarias para mejorar su aprendizaje. Ejemplos recientes de STIs son el “Asistente para la Reflexión” de Gama (2004) y el “MetaTutor” de Azevedo, Witherspoon, Chauncey, Burkett y Fike (2009a), ambos representativos de la generación más actual, al incluir la potenciación de las capacidades metacognitivas<sup>2</sup>. El “Asistente” de Gama está dividido en módulos que proponen a los estudiantes actividades reflexivas a lo largo de la resolución de los problemas. Los módulos son, en primer lugar, el

---

2 Otros intentos en la misma dirección son el esbozo de Sistema Tutor Metacognitivo, elaborado por Samsonovich (2009), a partir de su arquitectura “Constructor”, y el Sistema “Help Tutor” de Aleven, McLaren, Roll y Koedinger (2006). Samsonovich introduce múltiples representaciones explícitas del Yo que corresponden a diferentes perspectivas mentales que divergen por la experiencia temporal, la localización, la identidad del sujeto, etc., y que dan un toque metacognitivo a su bosquejo de Sistema Tutor. “Help Tutor” es un módulo que proporciona asistencia metacognitiva a los alumnos.

Módulo de preparación que, a través de preguntas, va interrogando a los alumnos sobre cómo afrontan la realización de la tarea; en segundo lugar, un Módulo de apoyo hace a los estudiantes pensar sobre su propio uso del conocimiento en el proceso de aprendizaje y, finalmente, hay un Módulo reflexivo en el que se confronta a los estudiantes con la ejecución realizada. “MetaTutor” está basado en las ideas de Zimmerman y otros autores sobre aprendizaje autorregulado (véase, por ejemplo, Pintrich, 2000). Consiste en el uso de agentes pedagógicos animados que actúan como elementos externos que detectan, modelan y promueven los procesos autorregulativos en el estudio del funcionamiento del sistema circulatorio.

Los STIs, a pesar de sus grandes progresos, plantean sus problemas: son muy caros y consumen muchas horas de trabajo de programadores. Por otra parte, siguen siendo de funcionamiento bastante inflexible y no dan cobijo a principios educativos cuya efectividad está más que comprobada, como el aprender enseñando o el aprender influyendo en la conducta de otros agentes<sup>3</sup>. Para poner remedio a estos déficits, el paradigma de los Sistemas de Aprendizaje Basados en Agentes (SABAs) ha surgido con fuerza en los últimos años. Se trata de sistemas computacionales que constan de agentes cognitivos, esto es, entidades de software que llevan a cabo operaciones encargadas por el usuario en un entorno de aprendizaje. Tienen un cierto grado de autonomía y emplean el conocimiento de los usuarios a los que representan. Son como avatares que representan las metas de los usuarios, tutores y estudiantes. Pueden encarnarse en caracteres visuales situados en un entorno específico de simulación o en agentes de software que introducen

---

3 En sus “Cartas a Lucilio” (Epístolas Morales I,7,8), ya Séneca afirmaba que *docendo discimus*, esto es, que aprendemos si enseñamos. Evidentemente, a lo largo de la Historia no han sido infrecuentes los casos en los que los propios estudiantes han tomado las riendas del proceso de enseñanza-aprendizaje, aprendiendo a través de la explicación o enseñanza a sus compañeros. Los principios metodológicos básicos de tal tipo de aprendizaje surgen a raíz del método de “monitorización” de la escuela lancasteriana del siglo XIX y encuentran eco en las ideas de (Dewey, 1938; Gartner, Conway y Riessman, 1971; Grzega y Schöner, 2008), entre otros.

estrategias de aprendizaje. Ejemplos conspicuos de este tipo de Sistemas son Betty's Brain (Biswas, Schwartz, Leelawong, Vye y TAG-V, 2005) y REAL (Bai y Black, 2005). En Betty's Brain el alumno enseña a un agente, llamado Betty, a partir de su elaboración de un mapa conceptual que refleja su comprensión de un tema. Pregunta a Betty y evalúa sus respuestas, además de examinar su ejecución de un conjunto predefinido de cuestiones, asignadas por un agente que actúa como mentor. Betty usa métodos cualitativos para razonar a través de cadenas de vínculos que sirven para responder a las preguntas (Biswas, Roscoe, Jeong y Sulcer, 2009). Cuando se le pregunta, Betty explica su razonamiento empleando texto y esquemas animados. Betty también pone en evidencia la conducta de los estudiantes cuando estos le enseñan. El objetivo es conseguir que los estudiantes adopten estrategias metacognitivas en sus tareas de aprendizaje. Betty, con sus explicaciones y respuestas, fuerza a los estudiantes a reflexionar y a revisar su propio conocimiento, en la medida en que desean que Betty aprenda mejor. En el marco de una estrategia de aprendizaje auto-regulado<sup>4</sup>, los autores introducen patrones metacognitivos de interacción con los estudiantes, que hacen que Betty les sugiera estrategias para mejorar su comprensión de la materia. Y así, si los estudiantes preguntan mucho a Betty pero no requieren explicaciones, Betty les invita a monitorizar su aprendizaje mediante la petición de explicaciones. O si le hacen preguntas que ella no puede responder, Betty les hace replantearse los objetivos del aprendizaje (por ejemplo, del ecosistema de los ríos, tal y como se presenta el tema a niños de 10 años o de quinto grado en Estados Unidos). Las respuestas de Betty combinan aspectos motivacionales y autorregulatorios (monitorización,

---

4 Quizá sea Zimmerman el autor más representativo de este enfoque del aprendizaje, que consiste en un conjunto complejo de técnicas y de estrategias para la regulación deliberada de los procesos de aprendizaje. En concreto, incluye las siguientes tres fases (Zimmerman, 1990, 2000, 2008): (a) Previsión (comprensión de la tarea, selección de estrategias, planificación de pasos...); (b) ejecución (auto-monitorización y auto-control de estrategias...) y (c) reflexión (auto-evaluación, resolución de conflictos...)

autoevaluación, etc.), mientras que las respuestas del mentor (Sr. Davis) se centran sobre estrategias de autorregulación.

REAL (*Reflective Agent Learning Environment*) se basa en la existencia de un carácter cognitivo autónomo que, manipulado por el estudiante, puede decidir cómo comportarse de acuerdo a una representación explícita del conocimiento sobre un entorno virtual. Por lo tanto, el alumno tiene una influencia directa sobre el comportamiento de su avatar, transmitiéndole sus ideas para la resolución de un problema y siendo corregido por un agente pedagógico. REAL será una fuente relevante para el diseño de nuestro Sistema, aunque introduciremos modificaciones fundamentadas en otros sistemas y en nuestros propios propósitos.

Hay dos acuciantes necesidades a las que este trabajo doctoral va a intentar poner remedio: (a) abundan los sistemas computacionales de instrucción asistida que toman como contenidos de referencia los aportados por las Ciencias Naturales, la Física, las Matemáticas..., pero existe una alarmante escasez, a nivel mundial, de materiales didácticos computacionales puestos al servicio de la Psicología; ¿por qué no crear entornos inteligentes de aprendizaje para la enseñanza de la ciencia de la Psicología?; (b) frente al diseño de Sistemas Tutores Inteligentes muy costosos y de diseño muy complejo, proponer la creación de un entorno educativo que puede ser más manejable, barato, de fácil y rápido uso y, lo que es más importante, de un rendimiento educativo no necesariamente inferior. A día de hoy, el autor de esta Tesis cree que ninguna de estas dos necesidades está atendida en el ámbito de nuestro país y en el ámbito internacional. Para ello empezaremos realizando un breve recorrido por los conceptos básicos de la teoría educacional y del aprendizaje que se constituyen en el sustrato conceptual para el diseño de nuestro sistema cognitivo para la enseñanza de la Psicología (PSICO-A o *PSICOlogía basada en Agentes*). También habrá referencias a los mapas conceptuales de Novak (1977)-los cuales son empleados en Betty's Brain-, a la teoría representacional de Black (1992, 2007), que introduce imágenes y modelos mentales como representación del conocimiento, favoreciendo así la construcción de mundos virtuales propios para la mejora

del aprendizaje, a la importancia de la Metacognición, tal y como se plantea en el Modelo Global de la Metacognición (MGM) de Mayor, Suengas y González Marqués (1993), y en la cuestión de los juicios de confianza (Dunlosky y Metcalfe, 2008), así como a la recuperación libre de lo recordado por los sujetos (Karpicke y Blunt, 2011). Todos ellos, elementos decisivos para el diseño pedagógico de PSICO-A.

Tras un análisis de los SABAs que, más directamente, inspiran este trabajo (Betty's Brain y REAL) y una breve incursión en el software de *Sniffy* para el estudio del condicionamiento animal, explicaremos paso a paso el diseño de PSICO-A y la razón de ser de todos sus elementos. PSICO-A emplea una interfaz basada en la Web y ha sido programado empleando el lenguaje PHP5. Un aspecto avanzado será el diseño de un analizador que use algoritmos, basados en medidas de similaridad y de distancia, para la localización de los conceptos que aparezcan en las respuestas dadas en lenguaje natural por los alumnos en una tarea de recuerdo libre. Validaremos PSICO-A mediante la realización de un experimento con una muestra de alumnos de la materia de Psicología de Segundo de Bachillerato (17-18 años), comprobando la mejora en el aprendizaje de un tema de la asignatura, producida por la aplicación del Sistema frente al método tradicional de enseñanza-aprendizaje. Algunas derivaciones serán extraídas acerca de la importancia de las Simulaciones y de los Juegos en todo este proceso, así como la posible correlación existente entre Mapas Conceptuales y Simulaciones para la mejora del rendimiento cognitivo de los alumnos.

Nuestras conclusiones redundarán en resaltar la relevancia de nuestra aportación para crear un sistema asequible de aprendizaje en Psicología, que mejore el rendimiento en el estudio de los alumnos y que sea motivador y ahonde en sus capacidades reflexivas y metacognitivas.

## **2. PRINCIPIOS TEÓRICOS DE PSICO-A**

### **2.1. REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO Y DISEÑO DE ENTORNOS INTELIGENTES DE APRENDIZAJE**

El problema de la representación del conocimiento es crucial para el diseño de entornos inteligentes de aprendizaje. En este sentido, vamos a seguir, en buena medida, las ideas de Black (1992, 2007) acerca de la importancia para el aprendizaje de las imágenes y modelos mentales y su uso en entornos virtuales. Siguiendo a Sáinz y González Marqués (1992, p. 312), “por conocimiento hay que entender un sistema de datos y un sistema de procesos mediante los cuales el sistema cognitivo define las relaciones funcionales entre una serie de estímulos y respuestas.” Una primera distinción es la que alude al conocimiento declarativo y al conocimiento procedimental. El primero se refiere al conocimiento expresado en la estructura proposicional de las expresiones formales que configuran la base de datos o estructura simbólica del sistema. El segundo tiene que ver con el conocimiento de las reglas o procedimientos que permiten al sistema la actualización de su conocimiento declarativo (Sáinz y González Marqués, 1992)<sup>5</sup>. Declarativamente, la estructura simbólica del sistema puede concebirse como una base de datos interrelacionados o como una base distribuida de datos modulares. En el primer caso, los datos se disponen en forma de redes según sus relaciones semánticas. Entre los modelos de redes semánticas destacamos el de Collins y Quillian (1969), el modelo de Memoria Asociativa de Anderson y Bower (1973) y el modelo de Holyoak y Glass (1975). Todos ellos comparten una memoria semántica, que consiste de un sistema de enlaces entre los nodos de la red (Ruiz-Vargas, 2010). El modelo de Collins y Quillian

---

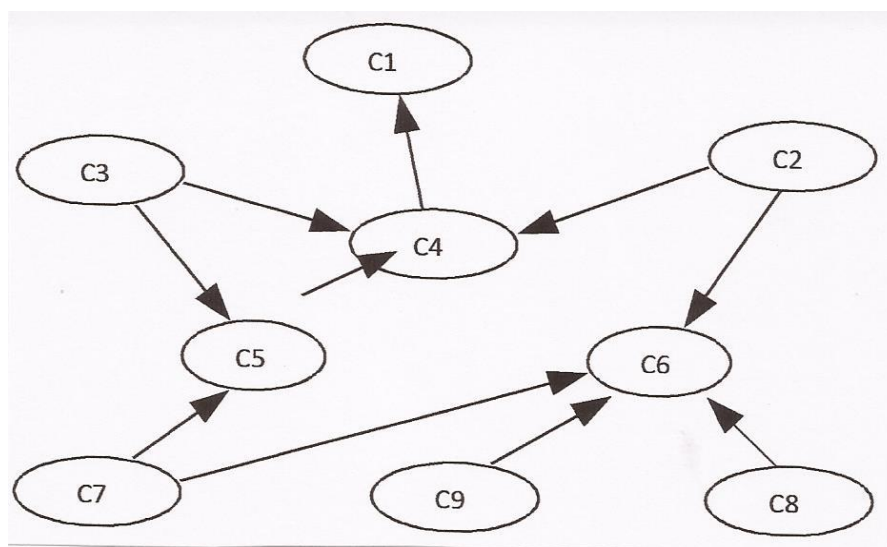
<sup>5</sup> No es que se trate de dos tipos alternativos de conocimiento, puesto que en una regla se expresan ambos; el declarativo, en la medida en que afecta a una descripción y el procedimental, en tanto definidor de la estructura de una descripción o sintaxis de sus expresiones.



(1969) predice que el tiempo empleado por el sistema cognitivo en la verificación descriptiva, es una función lineal de la distancia de los conceptos representados en la memoria. Collins y Loftus (1975) actualizan el modelo anterior, proponiendo dos etapas en el proceso de verificación (Sáinz y González Marqués, 1992): primero se activan los conceptos por un proceso de propagación; después, la activación se propaga en paralelo a partir de un concepto (representado por un nodo en la red) y serialmente entre los diversos conceptos entrelazados. La decisión última se obtiene a partir de la evidencia analizada, aplicando el teorema de Bayes. El modelo de Anderson y Bower (1973) considera que la información lingüística y la perceptiva son codificadas mediante una serie de proposiciones abstractas. Holyoak y Glass (1975) estipulan un modelo de búsqueda de marca léxica en el que el orden de dicha búsqueda está determinado por la frecuencia de producción de los términos.

Por aquellos años, Novak (1977) introducía los mapas conceptuales como diagramas de redes para representar el conocimiento declarativo. Novak es un psicólogo constructivista seguidor de la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel, y utilizó los mapas conceptuales como una manera de focalizar la atención de los estudiantes sobre el reducido número de ideas que han de conformar una tarea específica de aprendizaje. Un mapa conceptual es un esquema gráfico que representa las relaciones significativas entre ideas. En palabras de Novak (1998) sería como un “mapa de carreteras” donde se mostrarían algunos de los caminos a seguir para conectar los significados de los conceptos y así formar proposiciones. Un mapa conceptual está configurado por tres elementos primordiales: (a) conceptos o términos que clasifican ciertas regularidades referidas a objetos, eventos y situaciones (Novak llega a decir que las palabras o signos con las que se expresan regularidades suscitan imágenes mentales en los sujetos); (b) proposiciones, que unen dos o más conceptos mediante (c) palabras-enlace, formando así una unidad semántica. Las proposiciones, al afirmar o negar algo acerca de conceptos, ya poseen un valor veritativo. Al juntarse varias proposiciones se obtienen explicaciones conceptuales; finalmente, las palabras-enlace sirven de unión de los conceptos y señalan el tipo de relación establecida entre ellos.

En un mapa conceptual los conceptos están ordenados jerárquicamente, dispuestos por su orden de importancia o su mayor referencialidad. Los situados en la parte inferior son más concretos mientras que los más inclusivos se sitúan en la parte superior. Los conceptos han de ser seleccionados puesto que han de retener la parte más significativa del contenido de un tema y han de ejercer un buen impacto visual. La construcción de un mapa requiere escribir la lista de los conceptos más relevantes, estableciendo la jerarquía entre los mismos y, sobre todo, investigando las conexiones causales adecuadas entre ellos. Dada la gran importancia que este sistema de representación del conocimiento va a tener para el diseño de nuestra interfaz entre el entorno de PSICO-A y el alumno, reflejamos a continuación la estructura genérica de un mapa conceptual:



**Figura 1-** Representación de la estructura de un mapa conceptual. Los óvalos reflejan conceptos (C1, C2...) mientras que las flechas señalan relaciones causales entre conceptos.

Sin embargo, no todo lo que es representación del conocimiento parece reducirse a manipulación simbólica. Black (1992) estipula que las imágenes mentales son también un tipo de conocimiento que existe en la cognición humana: el conocimiento puede ser representado en un nivel más profundo de abstracción, esto es, en un mundo imaginario o de imágenes mentales que

complementan a las redes proposicionales y a los sistemas de producción. El modelo cognitivo de Black será una de las bases teóricas de nuestro diseño de PSICO-A<sup>6</sup>.

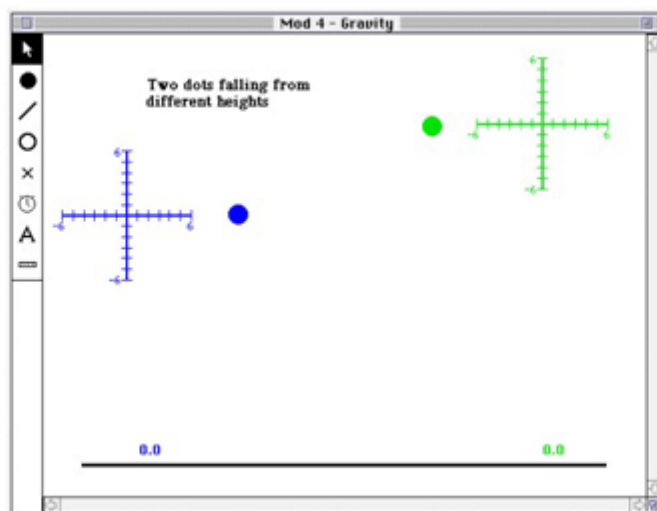
Una buena parte de la investigación psicológica ha recalcado la importancia de los modelos mentales como vehículos cognitivos que permiten a los estudiantes entender el funcionamiento de los sistemas, bien sean físicos, biológicos o de otro tipo. Los modelos mentales ( Craik, 1943; Gentner y Stevens, 1983; Holyoak, 1984; Johnson-Laird, 1983; Vosniadou y Brewer, 1992) son una representación de un área específica de la realidad en un formato que permite una simulación interna de los procesos externos. Hace más de sesenta años, ya Craik (1943) presentó la noción de modelo mental como una representación interna de un sistema. Johnson-Laird (1983) basa el razonamiento en la semántica y no en la aplicación de reglas formales, pudiendo los modelos mentales dar cuenta de los efectos del significado así como del razonamiento, dadas ciertas premisas no familiares. Su definición operativa de modelo mental como una representación de un cuerpo de conocimiento (tanto en la memoria a corto plazo como en la memoria a largo plazo) postula el cumplimiento de las siguientes condiciones: (a) su estructura se corresponde a la estructura de la situación que representa; (b) ha de estar compuesto únicamente de entidades perceptibles como elementos, aunque también puede contener elementos correspondientes a nociones abstractas y (c) no contiene variables (Johnson-Laird, 1989).

En el terreno educacional, la idea de los modelos mentales como simulaciones cualitativas de sistemas complejos ha ganado un gran predicamento en las últimas décadas. Resaltamos, por ejemplo, “Thinker Tools”

---

6 Como también lo es, a su vez, del sistema REAL (Bai, Black y Vitale, 2007b). Nosotros adaptaremos a nuestros propósitos los aspectos fundamentales del modelo de Black pero también, a conveniencia, introduciremos las modificaciones oportunas, dando un sello de originalidad a nuestro diseño.

de White (1995), proyecto basado en un entorno de micromundos<sup>7</sup> que permite a los estudiantes la observación del efecto ejercido por diversas fuerzas (gravitatoria, de fricción, etc.), sobre los objetos, respetando o contraviniendo las leyes de la Mecánica Clásica. En la siguiente figura apreciamos una pantalla de “Thinker Tools” aplicada a un ejercicio de Física de la gravedad:



**Figura 2** - Una pantalla de “Thinker Tools” para la enseñanza de los efectos de la Gravedad.

También han sido muy influyentes<sup>8</sup> los estudios de Kuhn (1989) sobre la predicción por los alumnos de factores que influyen en la creación de efectos físicos y biológicos.

De Kleer y Brown (1983) distinguen entre simulaciones como procesos y simulaciones como artefactos. En el primer caso, dada la estructura y los principios de un sistema, el sujeto determina el comportamiento de cada componente del mismo. En el segundo caso, un modelo causal describe el

7 Un micromundo es un entorno virtual en el que se simula una situación concreta (por ejemplo, el ecosistema de un río) y el sujeto interactúa con el entorno, ajustando diversos parámetros que poseen una influencia causal sobre el mismo (en el caso de nuestro ejemplo, la temperatura del agua, polución, etc.)

8 Véase el reflejo de sus ideas en el diseño del entorno educativo “Flood Predictor” (Kuhn, Black, Kesselman y Kaplan, 2000).

funcionamiento para producir un determinado efecto, antes de que la simulación empiece a funcionar. Pero para Kuhn et al. (2000), es el modelo mental que los estudiantes tengan de la propia causalidad el que puede ser deficiente, más que el modelo mental de los elementos particulares de un sistema. Esta idea guiará el diseño de nuestro Sistema computacional de enseñanza y nos llevará a emplear mapas conceptuales, que reflejen relaciones causales, en la interfaz alumno-programa. Y el motivo es que se interpretará que la fuente principal de dificultades de los alumnos surge por una inadecuada comprensión de las interrelaciones establecidas, aún cuando, aparentemente, entiendan el sentido y la funcionalidad de las nociones implicadas. En el análisis de modelos mentales de la causalidad en la que intervienen múltiples variables, la realización de inferencias válidas parece exigir la comparación controlada entre elementos que difieran solo en algún aspecto simple (Kuhn et al., 2000). Pero hay más: Black (1992, 2007) subraya la presencia en los sujetos de una imaginería espacial y visual que les facilita ir experimentando mentalmente con relaciones causales diferentes o incluso contrafácticas. Es como si los individuos fueran imaginando micromundos a partir de una situación dada, algo que, por cierto, tiene mucho que ver con el recurso a entornos virtuales empleados por los sistemas de instrucción por ordenador. Schwartz y Black (1996) muestran que tal imaginería permite generar un espacio de hipótesis, a partir de la evidencia perceptiva. Según Mayor y Moñivas (1992, p. 471) y siguiendo a Kosslyn (1981) y Farah (1984), “las imágenes serían estructuras transitorias de datos que se representan en el medio mental como espacio analógico, siendo producidas a partir de representaciones abstractas almacenadas en la memoria semántica.” Una vez generadas y representadas en el retén viso-espacial de la memoria activa, es posible operar sobre ellas. La funcionalidad cognitiva de las imágenes es muy amplia: para lo que a nosotros más nos interesa, son básicas en la resolución de problemas, sobre todo cuando las tareas son nuevas y en la fase inicial de las mismas; pero también son básicas en las comparaciones mentales (Paivio, 1978) y en la inspección mental de la realidad (Kosslyn, 1973). El desarrollo de programas computacionales para la resolución de problemas mediante

representaciones diagramáticas tiene más de tres décadas de antigüedad y ya Funt (1980), en su programa WHISPER, inducía a los estudiantes a resolver problemas a través de la rotación mental de imágenes. Kosslyn (1980) implementó ciertos aspectos de su teoría de la imagen en un programa computacional, postulando dos estructuras de memoria para mantener la información y tres mecanismos de procesamiento. Las estructuras de memoria eran el retén visual de la memoria activa y las estructuras de memoria a largo plazo. Los tres módulos de procesamiento eran PICTURE (que activaba la información visual almacenada), PUT (que interpretaba y ordenaba las pautas activadas), y FIND (que situaba las partes de la imagen y pasaba la información al módulo PUT). En la memoria semántica, Kosslyn (1980) hipotetizó la existencia de dos clases de representaciones: la representación literal y la representación proposicional. La literal se asemejaría a la apariencia de los objetos, pero su medio representacional no sería espacial (Mayor y Moñivas, 1992). A la representación literal se accedería por el nombre. Su estructura de datos no estaría especificada en ningún formato pero su contenido sería el mismo que el de las representaciones superficiales. El retén visual no contendría información por sí mismo, pero podría soportar distintos tipos de estructura de datos.

Finke (1980) estableció cinco principios explicativos de la imagen mental como constructo de la cognición. Tal y como son formulados por Mayor y Moñivas (1992, p. 589) son: “codificación implícita, equivalencia perceptiva, equivalencia espacial, equivalencia transformacional y equivalencia estructural.” El primer principio es clave para el aprendizaje centrado en entornos virtuales, ya que la imagen mental es básica para la recuperación de la información de las propiedades físicas de los objetos y de las relaciones físicas entre ellos no explícitamente codificadas. En la equivalencia perceptiva, la imagen se hace funcionalmente equivalente a la percepción, al activarse mecanismos semejantes a los del sistema visual cuando una misma escena u objeto son percibidos o recuperados de la memoria. El principio de equivalencia espacial presupone que el ordenamiento de los elementos de una imagen mental corresponde a la forma en que los objetos y sus partes se ordenan en

su espacio físico. La equivalencia transformacional establece que las transformaciones producidas por imágenes mentales y las transformaciones físicas, ofrecen las mismas características dinámicas. Finalmente, la estructura de las imágenes mentales se correspondería a la de los objetos representados tal y como son percibidos en la realidad y de acuerdo con su organización y coherencia estructural (aspecto también clave para entender el diseño de los entornos de Juego y de Simulación en PSICO-A ).

Por lo que respecta a la funcionalidad de las imágenes como elementos de comparación mental, Sáinz, González Marqués y Mayor (1988) estudiaron la capacidad de los individuos para realizar comparaciones de tamaño entre pares de figuras y pares de palabras que representaban diversos objetos del mundo real. Había pares de dibujos de animales congruentes con su tamaño relativo real, y otros incongruentes con su dimensión física relativa real. Lo mismo se daba en la condición para palabras. Los tiempos de reacción para ambas modalidades de presentación de estímulos eran superiores en las situaciones de incongruencia estimular.

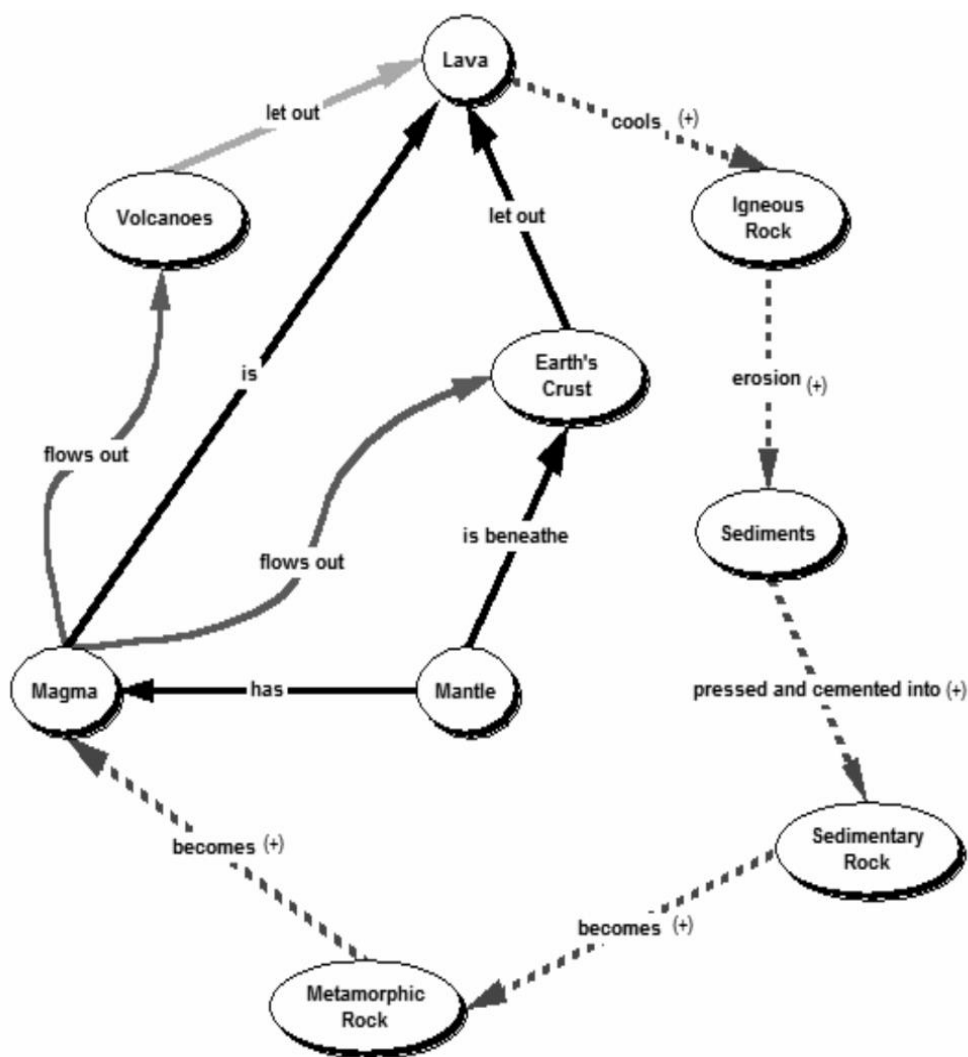
Frente a las teorías epifenómicas que sostienen que las imágenes no son constructos primitivos del conocimiento (Mayor y Moñivas, 1992), las teorías fenoménicas podemos decir que se ajustan muy bien a los principios que animan el diseño de los sistemas de aprendizaje fundamentados en micromundos o entornos virtuales. Tales teorías afirman que la imaginación utiliza procesos y representaciones que se emplean normalmente en la percepción visual (Farah, 1984; Finke, 1980; Kosslyn, 1980; Paivio, 1971; Shepard, 1981; Ullman, 1984), subrayando la gran funcionalidad de las mismas para el conocimiento, en nuestro caso, para la Instrucción. Shepard (1981) insiste en el isomorfismo de los procesos transformacionales ejercidos sobre las imágenes y las transformaciones físicas reales sufridas por los objetos. Finke (1980) analiza los mecanismos del sistema visual compartidos por la imaginación y la percepción. Kosslyn (1980) subraya cómo las imágenes hacen explícita la información espacial, a pesar de no estar explícitamente codificada en la memoria a largo plazo. Pero es Paivio (1971), con su teoría del código dual, el que mejor ha estudiado la relación existente entre las imágenes y el

aprendizaje. Paivio sostiene la existencia de un subsistema imaginario, cuyas funciones esenciales son el análisis y la generación de imágenes. Las imágenes permiten visualizar partes de la realidad que no se presentan de modo inmediato. Por ello, no es de extrañar que el aprendizaje cada vez más se base en dibujos y diagramas que acompañan a los textos, tal y como buscamos refrendar con nuestro diseño del sistema PSICO-A. Hay ilustraciones, como las fotos, que resaltan determinados aspectos de la percepción y hay ilustraciones que visualizan estructuras y relaciones de la realidad no percibidas en condiciones normales, como los mapas conceptuales.

Black (2007) refiere cómo es habitual entre los lectores que construyan imágenes visuales de escenas descritas en las historias que van leyendo, como si el espacio de su mente fuera recorrido por avatares desempeñando los papeles de los personajes de las historias escritas. Esas imágenes poseen información implícita que va más allá de las representaciones proposicionales que puedan describir las escenas. El sujeto “ve” cómo los objetos se ajustan entre sí, sugiriendo la secuenciación de ciertas acciones. Pero más aún, el individuo es capaz de experimentar en su imaginación, presuponiendo hipotéticos cambios. Por eso, Black (2007, p. 197) habla de “mundos imaginarios”, en el doble sentido de mundos hechos de imágenes pero también de mundos que los individuos imaginan. Black (2007) realizó una serie de experimentos con estudiantes de la Universidad de Columbia-con el objetivo de comprobar la influencia de las imágenes sobre su conocimiento de la catedral de Saint John-, en los que empleó un programa multimedia de imágenes en tres dimensiones. En una primera condición, en la que solo se presentaba a los alumnos un texto descriptivo, el rendimiento de los alumnos para dar cuenta de los detalles de la catedral, fue francamente pobre. En una segunda condición, se les presentaba las imágenes del programa y los estudiantes podían reconstruir un mundo virtual o imaginario muy fidedigno respecto al objeto real. En una tercera condición, se añadió texto a las condiciones anteriores y el grupo que manejó el programa lo hizo mucho mejor que los otros grupos. Resulta evidente la efectividad de las imágenes en aquellos aprendizajes que poseen un alto componente espacial pero Black y colaboradores demuestran lo



mismo para aprendizajes menos focalizados en la estructura espacial de lo aprendido. Tsuei y Black (Black, 2007) pidieron a estudiantes preadolescentes que, con la información aportada por unos folletos de la NASA, diseñaran cómo podrían ser unas colonias en Marte. Los niños, que solo habían leído texto, dibujaron un entorno completamente inconexo, sin relaciones funcionales entre los edificios y sin continuidad entre las escenas. Pero, facilitándoles un diagrama de relaciones funcionales o mapa conceptual, como el que aparece abajo dibujado, los niños transfirieron los conceptos allí representados y lograron efectuar representaciones más coherentes.



**Figura 3** - Mapa conceptual de elementos de Marte empleado en el experimento de Tsuei y Black (Black, 2007).

Se desprende de este experimento el gran valor de los mapas conceptuales para mejorar la capacidad descriptiva y de aprendizaje de los niños.

En un juego de simulación sobre los efectos de las inundaciones, Kuhn et al. (2000), ya comprobaron el efecto de las imágenes sobre el razonamiento de los niños. Ellos veían en el ordenador los posibles factores causantes de la inundación provocada por un lago y especificaban los parámetros de esos factores, observando los resultados simulados y reajustando dichos parámetros. Todo ello con la finalidad de localizar los lugares adecuados para levantar cabañas cerca de los lagos, que no pudieran ser invadidas por las aguas. En una de las condiciones experimentales, recibieron la información mediante animaciones visuales dinámicas, mejorando mucho su habilidad para la localización segura de las cabañas.

Chan y Black (2006) demuestran también que las simulaciones gráficas que permiten a los estudiantes manipular las entidades que intervienen en un problema, observando los cambios resultantes por medio de animaciones, es la mejor forma de estimular en los estudiantes el aprendizaje de situaciones dinámicas. Es decir, se trata de que los alumnos aprenden observando cómo se comportan agentes animados en función de cómo les han enseñado a comportarse: es una forma de aprendizaje por observación de la conducta de los agentes virtuales, agentes sobre los que han influido conductualmente. Este paradigma de aprendizaje va a presidir el diseño de PSICO-A, dada su gran potencia. En PSICO-A aplicaremos esta forma de aprendizaje y, dada una situación, como, por ejemplo, Mousi recorriendo un corredor, los alumnos ajustarán los parámetros correspondientes y comprobarán el resultado inmediatamente, presenciando la correspondiente simulación animada. O lo que es lo mismo, controlarán a un agente virtual y aprenderán al observar su consiguiente conducta. Chan y Black (2006) verificaron el valor de este enfoque, usando simulaciones relativas al principio de conservación de energía en alumnos de 14 años. Los niños tuvieron suficiente con la explicación textual para el caso más simple del columpio pero para el caso de la montaña rusa ya precisaron de la combinación de texto y de diagramas, mientras que para el

caso más complejo, el de la pértiga, el efecto de la simulación sobre el aprendizaje, superó en mucho al de las otras dos condiciones.

## ***2.2. MODELO GLOBAL DE LA METACOGNICIÓN (MGM)***

La Metacognición es uno de los “tópicos calientes” de la Psicología en nuestros días. Está fehacientemente demostrado que los alumnos que logran el éxito académico son aquéllos que mejor manejan las estrategias metacognitivas en el estudio. Y por eso la referencia a la Metacognición no va a faltar en el diseño de nuestro sistema computacional PSICO-A. Una versión revisada y abreviada del Cuestionario de Evaluación del Modelo Global de la Metacognición (CEMGM) será facilitada a los alumnos en una de las ventanas de nuestro sistema informático. Dicha Evaluación nos permitirá verificar el grado de madurez metacognitiva de los estudiantes en su comprensión y preparación del tema. También habilitaremos en PSICO-A un botón que permita a cada estudiante dar un juicio de confianza sobre el grado de aprendizaje que cree que haya tenido del tema.

Dedicaremos una primera subsección a exponer algunos modelos teóricos de la Metacognición y, en especial, el modelo MGM, y un segundo párrafo vinculado al comentario de algunas ideas básicas acerca de los juicios de confianza y su valor para medir la capacidad de logro académico de los sujetos en sus tareas de estudio. Empezamos por nuestro primer objetivo.

La Metacognición es, sin duda, un gran triunfo evolutivo de la especie humana. García (1996, p. 310) subraya cómo “la metaconducta posibilita al ser humano sobrepasar la biología e instalarse en la biografía.” Históricamente<sup>9</sup>, las referencias a la Metacognición y a su práctica son numerosas, pero la explosión de estudios en torno a este ámbito podemos decir, con propiedad, que es algo que solo atañe a nuestras dos últimas generaciones. Conocida es

---

<sup>9</sup> La Literatura, tanto antigua como medieval, está plagada de alusiones a procesos de auto-reflexión y de auto-conciencia reflejados en personajes e incluso en autores. Por ejemplo, en la “Divina Comedia” el propio Dante expresa en el Canto I, 34, su gran dificultad para transmitir lo que se puede sentir en la vida ultraterrena, aludiendo a que su esfuerzo descriptivo ha de realizarse mediante alegorías, para cuya comprensión el lector ha de poseer amplios conocimientos.

la famosa paradoja de Comte<sup>10</sup>, formulada por el autor positivista del siglo XIX acerca de las dificultades planteadas por la introspección y cómo Wundt, el gran fundador de la Psicología académica, invocó el método introspectivo como fundamental<sup>11</sup>. Pero hemos de remitirnos al artículo fundacional de Flavell (1979), “Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive-Developmental Inquiry”, para encontrar carta de naturaleza al uso del término y su extensión, así como una definición concreta y operacional del mismo. Por aquel entonces, John Flavell era un psicólogo de orientación neopiagetiana y, por ello mismo, lógicamente preocupado por el desarrollo cognitivo y los cambios en la auto-reflexividad de los individuos en sus estadios tempranos de desarrollo (Flavell y Wellman, 1977)<sup>12</sup>. En dicho artículo, Flavell (1979, p. 906) definía la Metacognición como “el conocimiento y la cognición que un sujeto tiene acerca de sus fenómenos cognitivos.” En definitiva, aquello que conocemos acerca de lo que conocemos. Obviamente, era necesario especificar esta definición, habida cuenta de la inmensa cantidad de fenómenos cognitivos que son objeto de control y monitorización por parte de los sujetos: percepciones, recuerdos, pensamientos, acciones...Según García (1996, p. 307), Flavell centró su análisis en las variables de la Metacognición, a diferencia de aquellos que pusieron el acento “en el estudio de los procesos y mecanismos de autorregulación utilizados por un sujeto activo en situaciones de aprendizaje y resolución de problemas.” Al conocimiento metacognitivo habría que añadir “experiencias” metacognitivas, esto es, vivencias afectivas o

---

10 Comte se interrogaba sobre cómo un único proceso-el introspectivo-podía ser analizado como dos o más procesos simultáneos: “El pensador no puede dividirse a sí mismo en dos, de los cuales uno razona mientras que el otro se observa razonar. Si el órgano observado y el órgano observador son, en este caso, idénticos, ¿cómo puede tal observación tener lugar?” (cit. en Nelson, 1996, p. 103).

11 Una breve pero excelente introducción histórica al desarrollo del estudio de la Metacognición puede encontrarse en el capítulo segundo de Dunlosky y Metcalfe (2008). De aquí tomamos algunos datos sobre la aportación de Flavell.

12 Flavell (1963) ya había descrito, de manera elocuente, cómo el pináculo del desarrollo cognitivo infantil había que situarlo en la capacidad de los niños de forjar pensamientos acerca de sus propios pensamientos.

cognitivas que tendrían que ver con los “sentimientos” del sujeto al completar una determinada labor (y así la grata sensación de que se sabe o se recuerda una cierta información como, por ejemplo, el que un estudiante de Medicina se dé cuenta de que sabe en qué parte del organismo está situado el hueso del fémur).

Una nutrida escuela de Psicología volcada en el estudio de la Metacognición surgió, en consecuencia, a finales de la década de los años 70 del siglo pasado. Wellman, Brown, Nelson, Narens, Metcalfe y otros muchos extenderán el interés por la temática incluso mucho más allá del ámbito de las Facultades de Psicología. En el terreno de la Educación, una avalancha de aplicaciones en el aula se han sucedido, como atestigua Carroll (2008)<sup>13</sup> o, en el dominio de la educación especial, Martínez y García (2002)<sup>14</sup>. También han surgido algunos Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) que ejercitan el desarrollo de estrategias metacognitivas para la mejora del aprendizaje en alumnos de todos los niveles educativos. Ya fueron citados en la página 12 de este trabajo y serán objeto de detallado análisis en el siguiente capítulo.

Siguiendo a Mayor et al. (1993), podemos decir que los primeros intentos por ofrecer un modelo general de la Metacognición son los de Flavell (1979, 1981) y Wellman (1985). El primero distingue entre cuatro componentes que interactúan entre sí: objetivos cognitivos, experiencias metacognitivas, conocimiento metacognitivo y uso de estrategias. Flavell menciona tres variables dentro del conocimiento metacognitivo: la persona, la tarea y la estrategia. La primera variable incluye el “conocimiento de las capacidades y limitaciones cognitivas de las personas, incluido uno mismo” (García, 1996, p. 306). La variable *tarea* alude a la información disponible y lo demandante que

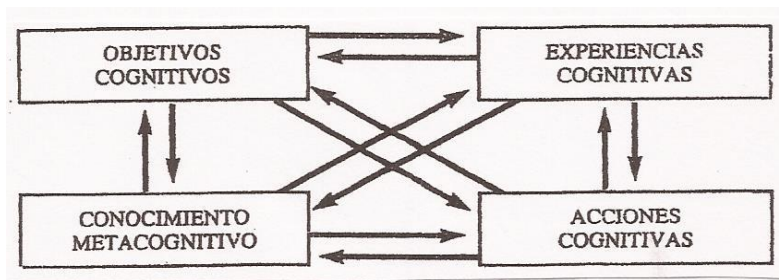
---

13 Véase también, por ejemplo, la Tesis Doctoral de Doménech (2004) sobre el uso de estrategias metacognitivas en la resolución de problemas planteados a escolares, para encontrar interesantes referencias y planteamientos. Hacker, Dunlosky y Graesser (2009) realizan un compendio muy completo sobre cómo la Metacognición es aplicada al mundo educativo.

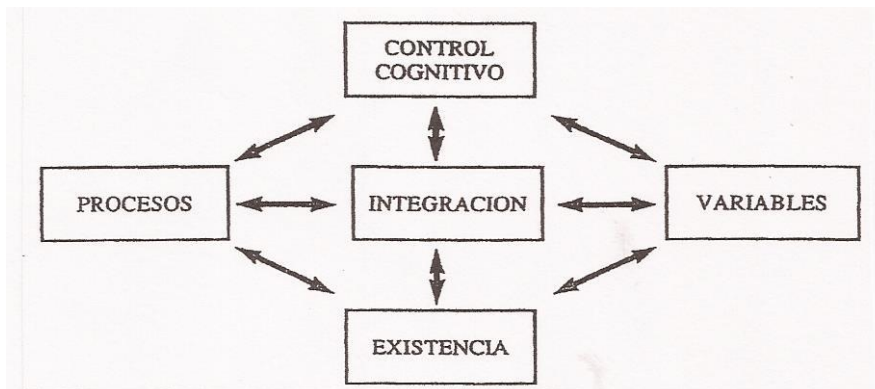
14 Lourdes Martínez y Emilio García han desarrollado un programa de mejora de la metamemoria en adolescentes con déficit mental moderado, en el cual los alumnos van respondiendo en sus cuadernos a las preguntas de tipo metacognitivo que les va realizando su profesora (Martínez y García, 2002). Casi tres décadas antes, Byrnes y Spitz (1977) ya incidieron en la importancia de desarrollar estrategias metacognitivas en niños con problemas, a través de la ejecución de una tarea como la de la “Torre de Hanoi”.

puede resultarle al sujeto una actividad cognitiva específica. En la variable *estrategia* se incluyen las estratagemas efectivas para alcanzar submetas y metas en diversas tareas cognitivas.

Wellman hablará de la existencia de estados mentales integrados en una sola mente, dependientes de diversas variables y sometidos a un control cognitivo. En las siguientes ilustraciones, tomadas de Mayor et al. (1993, p. 55), es posible apreciar cómo se esquematizan ambas propuestas:



**Figura 4** - Modelo de Metacognición de Flavell (1979, 1981).

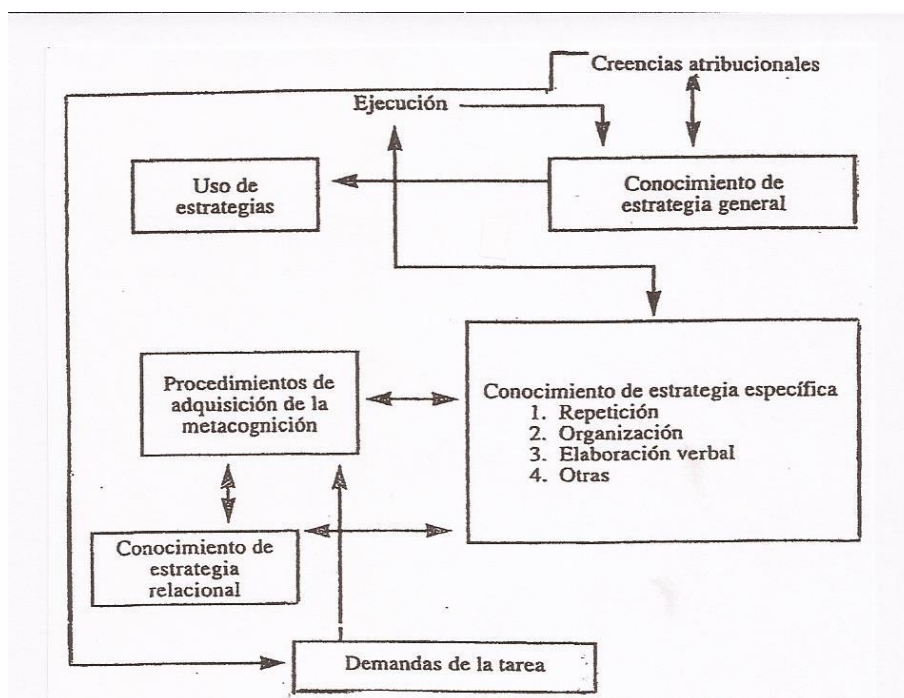


**Figura 5** - Modelo de Metacognición de Wellman (1985).

Brown (1987) divide la Metacognición en (a) conocimiento de la cognición y (b) regulación de la cognición. El conocimiento cognitivo atañe a la reflexión consciente sobre las actividades y habilidades cognitivas de uno mismo. Es estable, falible, dependiente de la edad y expresable; (b) tiene que ver con los mecanismos auto-regulatorios implicados en el aprendizaje o resolución de un problema. Incluye actividades de planificación, de monitorización y de evaluación. Es un proceso que tiende a ser inestable y,

hasta cierto punto, independiente de la edad. Al apercibirse de que las personas expertas en ciertas tareas monitorizan mejor la comprensión y realización de las mismas, Brown introdujo el concepto de estado “autopiloto” o estado en el que las tareas se realizan de modo automático.

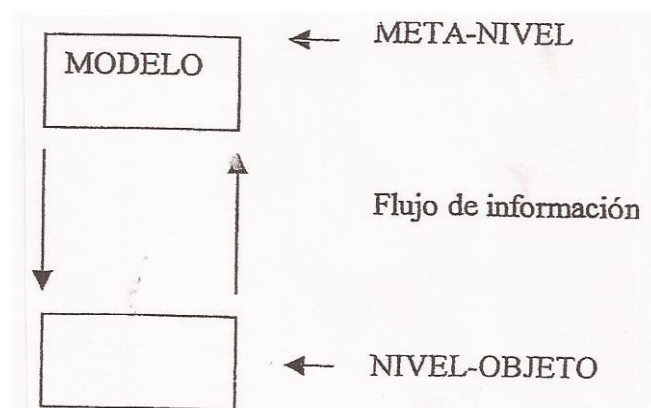
Borkowski y Turner (1990) elaboran un modelo metacognitivo configurado por (a) conocimiento de estrategias específicas; (b) conocimiento relacional (surgido por la comparación de estrategias de diversos dominios); (c) conocimiento de una estrategia general y (d) procedimientos de adquisición metacognitiva, que aseguran el descubrimiento de nuevas estrategias y la auto-regulación del funcionamiento cognitivo. El esquema del modelo puede contemplarse en la figura siguiente (Mayor et al., 1993, p.56):



**Figura 6 -** Modelo de Metacognición de Borkowski y Turner (1990).

Sin lugar a dudas, el modelo más influyente de la Metacognición, no solo en Psicología sino también en sus aplicaciones a la Inteligencia Artificial, es el de Nelson y Narens (1990), posteriormente reformulado de una manera definitiva por Nelson (1996). De acuerdo con este modelo, (a) los procesos metacognitivos se dividen en dos o más niveles interrelacionados, siendo los dos niveles básicos el nivel-objeto y el meta-nivel; (b) el meta-nivel contiene un

modelo dinámico del nivel-objeto; (c) existen dos tipos de flujo de información, el “control” y la “monitorización”. El control se basa en que el meta-nivel modifica el nivel-objeto, pero no al contrario: el flujo de información procedente del meta-nivel cambia el estado del proceso en el nivel-objeto o altera el proceso mismo. Esto genera algún tipo de comportamiento en el nivel-objeto que puede iniciar una nueva acción, continuarla o finalizarla. Pero debido a que el control por sí mismo no genera información desde el nivel-objeto, se necesita de la monitorización. En la monitorización, el meta-nivel recibe información del nivel-objeto. Esto es algo que cambia el estado del modelo de la situación en el meta-nivel, pudiendo, no obstante, mantenerse el estado inicial. La circunstancia opuesta no se da, es decir, el nivel-objeto carece de un modelo del meta-nivel. El lector puede observar a continuación un esquema del modelo (Nelson y Narens, 1994, p. 11):



**Figura 7 -** Modelo metacognitivo de Nelson y Narens (1994).

Como es natural, Nelson y Narens (1994) generalizan la distinción entre meta-nivel y nivel-objeto a más de dos niveles. En el nivel-objeto se trataría de cogniciones concernientes a objetos externos. En el primer meta-nivel se abordarían cogniciones concernientes a cogniciones de objetos externos. En el segundo meta-nivel aparecerían cogniciones relativas a las cogniciones del primer nivel<sup>15</sup> y así sucesivamente. Durante el proceso de monitorización, el

<sup>15</sup> Nelson (1996) reconoce haberse inspirado en la solución dada por Tarski (1956) a las paradojas en su teoría de la verdad. Al reconocerse en su modelo que cualquier cognición de nivel inferior puede ser sujeto de una cognición de nivel superior y que ambas cogniciones pueden ocurrir simultáneamente, la



meta-nivel utiliza información acerca del nivel-objeto y tal vez sobre la relación entre el nivel-objeto y otros niveles que están por debajo de ese meta-nivel y todavía por encima del nivel-objeto. Habría entonces finitamente muchos niveles  $L_0, \dots, L_i, \dots, L_j, \dots, L_N$ , tal que el primer nivel  $L_0$  procesa información únicamente sobre el objeto y  $L_j$  procesa información sobre el nivel inferior  $L_i$  (para  $i < j$ ) y quizá sobre las interrelaciones entre  $L_i$  y otros niveles para los que  $L_i$  es un meta-nivel:  $L_i$  actúa como un nivel-objeto para  $L_j$  y quizá para otros niveles superiores a  $L_j$ . Nelson y Narens (1994) asumen que el meta-nivel opera simultáneamente con el nivel-objeto y no de forma secuencial.

Nelson (1996) introdujo la novedad consistente en recoger explícitamente la asunción de falibilidad de la introspección: la monitorización por parte de los individuos puede contener errores o distorsiones, a veces llamadas ilusiones cognitivas. Sería algo no muy diferente a lo que sucede con las ilusiones perceptivas, solo que en este caso la monitorización tendría lugar sobre una parcela del nivel-objeto. Nelson resume esta eventualidad diciendo que en la Metacognición, al basarse en formular informes (verbales) sobre lo que ocurre en el nivel-objeto y operacionalizar lo que sucede en ese nivel-objeto a través de algún tipo de respuesta observable, a veces se producen desajustes en la evaluación empírica del grado de relación entre el informe y la respuesta.

Poco antes del artículo citado de Nelson, había aparecido en imprenta el modelo metacognitivo más completo existente o “Modelo Metacognitivo Global” (Mayor et al., 1993). Recoge no solo la distinción entre niveles y la interacción entre control y monitorización sino que, además, distingue tres macrocomponentes (conciencia, control y autopoiesis) que cruza con los elementos básicos (componentes), los problemas básicos (tareas) y los rasgos característicos (modos) de la actividad metacognitiva. Lo expondremos en profundidad pero, antes, describimos el modelo jerárquico de Tobias y Everson (2002), debido a su influencia en el diseño del “Asistente para la Reflexión” de Gama (2004). Estos dos autores consideran que la Metacognición es un

---

paradoja comtiana sobre la introspección quedaría resuelta a juicio del autor norteamericano.

cúmulo de conocimiento y de habilidades, implicando, a su vez, la monitorización de los procesos cognitivos y de aprendizaje así como el control de esos procesos. Precisamente, la monitorización del conocimiento<sup>16</sup> sería el elemento que activase las otras capacidades metacognitivas: evaluación del aprendizaje, selección de estrategias y planificación, adquiriendo el modelo la siguiente configuración jerárquica:

PLANIFICACIÓN
ESTRATEGIAS
EVALUACIÓN
CONOCIMIENTO

**Figura 8** - Modelo metacognitivo de Tobias y Everson (2002).

Coutinho (2007), a su vez, elabora un modelo en el que establece una correlación directa entre la ejecución de metas, el dominio de las mismas y el éxito académico, a través del ejercicio de la Metacognición. Los estudiantes que tienen maestría en el manejo de las metas de una tarea dada, son más duchos aplicando estrategias metacognitivas. La validación del modelo fue realizada mediante un experimento en el que los participantes completaron una escala de orientación hacia metas, una escala metacognitiva y una escala demográfica, comprobándose que los estudiantes no expertos en la resolución de metas no disfrutaban del éxito académico.

Sabedores de la complejidad de la Metacognición, Mayor, Suengas y González Marqués postularon en 1993 un modelo con pretensiones de globalidad. Los autores de la Universidad Complutense pergeñaron un modelo que, incorporando los dos macrocomponentes básicos de la conciencia y el control, añadía un tercer macrocomponente, el de la autopoiesis, con la finalidad de dar cuenta del salto de nivel o creación de algo distinto de lo ya existente (Mayor et al., 1993), propio del fenómeno metacognitivo: la autopoiesis supone cierre y apertura y generación de nuevas y dinámicas

---

16 "We believe that monitoring of prior learning is a fundamental or prerequisite metacognitive process (...). If students cannot differentiate accurately between what they know and do not know, they can hardly be expected to engage in advanced metacognitive activities such as evaluating their learning realistically, or making plans for effective control of that learning" (Tobias y Everson, 2002, p. 1).

metas que cambian no solo al entorno, sino también al propio agente cognitivo<sup>17</sup>. El primer macrocomponente, el de la *conciencia*, encierra como componentes, (a) la *intencionalidad* y (b) la *introspección*<sup>18</sup>. En palabras de Mayor et al. (1993, p. 57), “la intencionalidad consiste en la actividad mental por la cual ésta se remite siempre a un objeto distinto de ella misma.” Precisamente eso ocurre con la Metacognición, que tiene como objeto la cognición siendo, no obstante, tanto una como otra, cognición.

Una intención<sup>19</sup> es un tipo de estado mental que regula la transformación de procesos motivacionales en procesos volicionales. Dicha transformación se verificaría en dos pasos (Heckhausen y Kuhl, 1985): el primero, consistiría en la formación de intenciones mientras que el segundo apelaría al inicio de la acción. Como es lógico, la formación de intenciones acontece después de que los aspectos más relevantes de la deseabilidad y de la condición factible de la meta concebida, hayan sido elaborados (Heckhausen, 1991). Hay que fijarse en que estamos hablando de “deseabilidad”, por lo que será interesante que en todo sistema de aprendizaje se reflejen los patrones de actividad de los estudiantes. El proceso de iniciar la acción suele confundirse con la formación de intenciones y, de hecho, James (1890) apeló a la llamada “ley ideomotórica”, que eliminaría la necesidad del “¡Fiat!” anterior.

La capacidad introspectiva no consiste simplemente en poseer información acerca del yo sino que es también auto-interpretación. Es entender el yo lo suficientemente bien como para generar un conjunto de metas

---

17 “(...) acute awareness of the world implies being able to comprehend when the world is in need of change and, as a result, being able to form a goal to change it” (Cox, 2005, p. 6).

18 Los autores incluyen también un componente referido a la existencia de diferentes niveles de conciencia. Y es que, en efecto, la dimensión consciente es un continuo que va desde los niveles más bajos-conciencia meramente funcional-, hasta los más altos-conciencia reflexiva-(Mayor et al., 1993). Como recientemente postulan Cleeremans y Jiménez (2002), las gradaciones son muy leves entre niveles de conciencia y nunca consisten en transiciones del tipo todo o nada.

19 Para un análisis detallado de este concepto, en el marco del estudio de las intenciones de implementación y su utilidad para el diseño de agentes artificiales, véanse Pelta (2007) y González Marqués y Pelta (2010).

explícitas de aprendizaje que actúen como un objetivo para tomar decisiones sobre el mundo.

El macrocomponente del *control* es el más estudiado, bien a través de la idea de *control ejecutivo* (Carver y Scheier, 2000), de *acción dirigida hacia metas* (Austin y Vancouver, 1996) o de *auto-control* o *auto-regulación* (Zimmerman y Schunk, 1989). La noción de control ejecutivo arranca de la Cibernética (Wiener, 1948) y ha visto su ramificación en la propia Neuropsicología (Goldberg, 2001). En el modelo de Wiener, la entrada al sistema es alguna señal de referencia que, mediante un *feedback* o retroalimentación desde la salida del sistema, permite comparar la diferencia y regular de nuevo la salida. Los bucles de retroalimentación son uno de los componentes del macrocomponente autopoiético del modelo metacognitivo de Mayor et. al. (1993) y serán analizados con posterioridad. La influencia de Wiener en Psicología ha sido retomada más modernamente por Katz y Kahn (1978). Estos autores enfatizan que los sistemas están compuestos de partes interrelacionadas que, a su vez, están conformadas por estructuras menos complejas. El aspecto más interesante es su afirmación de que, al pensar sobre cualquier sistema particular, tanto los sistemas componentes como los sistemas de orden superior, de los que forma parte el sistema estudiado, han de ser también pensados, es decir, se reclama la necesidad de indagar en el meta-nivel y, por lo tanto, se da vía libre a la Metacognición. En ese mismo año, Powers (1978) hizo sentir su influencia en la comunidad psicológica a través de su teoría del "Control Perceptual". Powers añadió dos elementos al modelo de Control de Wiener: la función de entrada y las perturbaciones en el sistema. La omisión de una función de entrada es muy problemática en Psicología, puesto que implica la asunción de objetividad allí donde no existe: la función de entrada determina la variable. Por otro lado, sin perturbaciones, las salidas del sistema determinan completamente el estado de la variable, algo bastante poco realista. También es digno de resaltar cómo Powers situó el funcionamiento de cualquier bucle particular en un conjunto de bucles jerárquicamente conformados. Y así, las metas de un bucle o unidad cibernética, eran las salidas de unidades de orden superior, no haciéndolas depender de entidades

fuera del sistema y, en cierto sentido, apelando a una elaboración del control desde el Yo.

En el ámbito de la Neuropsicología, las referencias a un control ejecutivo son muy numerosas. Se suele situar en el córtex prefrontal el lugar primario en el que se localizan las funciones de control. Es la única área del cerebro que recibe la entrada de todas las modalidades sensoriales. Goldberg (2001) ha denominado a esta zona el “ejecutivo jefe”. Cooper y Shallice (2000) han desarrollado un modelo computacional en el que los esquemas de acciones son organizados jerárquicamente en una red y la selección de las rutinas de acción se basa en la activación competitiva en esa red. Los lapsos cotidianos resultantes de un daño neurológico se explicarían siguiendo un esquema de arriba hacia abajo, en la línea del modelo de pérdida del control supervisor de Shallice (1982).

Sin duda, las metas dirigen las actividades de los sujetos. En los enfoques dominados por la idea de acción dirigida a metas, los sujetos son concebidos como responsables de la selección y propuesta de sus propios objetivos, aspectos que controlan además de la propia ejecución (Mayor et al., 1993). Existen muchos modelos de orientación hacia metas, entre los que podemos citar los de Pintrich (1989), Ames (1992) o Harackiewicz, Barron y Elliot (1998). La mayoría de estos modelos proponen dos tipos de orientaciones a metas. Por ejemplo, Ames (1992) las etiqueta como metas de *ejecución* y de *dominio* de la tarea. Las de *ejecución* orientan a los aprendices a centrarse en su capacidad y autoestima frente a otros estudiantes, mientras que las de *dominio* les orientan hacia el desarrollo de nuevas habilidades, mejorando su nivel de competencia. Elliot (1997) diferencia entre dos clases de metas de *ejecución*: por *aproximación* y por *evitación*. En el primer caso, los individuos buscan demostrar su competencia y superioridad mientras que, en el segundo, están negativamente motivados y evitan el fracaso en la ejecución. De una manera similar, pero pensando en el rendimiento de los alumnos en el aula, Pintrich (1989) ha discernido entre una orientación extrínseca de los estudiantes a conseguir la aprobación de los profesores y una orientación consistente en evitar el castigo o la crítica.

Kruglanski (1996) realiza un análisis estructural de las metas y su organización en redes, evidenciando ciertas propiedades de las mismas. Así, las metas poseen la característica de la equifinalidad o acceso a ellas mediante acciones diferentes. También hay que hablar de la multifinalidad o la condición de que cualquier instrumento puede servir a la consecución de más de una meta. Como Gollwitzer (1993) ha demostrado, la asociación entre instrumentos y metas parece ser determinante para la obtención de éstas. Cuando los sujetos hacen uso de apoyos situacionales que les dirigen hacia las metas (y, por lo tanto, emplean intenciones de implementación: “¡Pretendo iniciar la conducta dirigida hacia X cuando encuentro la situación Y!”), su éxito en la consecución de las mismas es superior a si todo el control de la conducta parte del yo, utilizando intenciones simples (“¡Pretendo conseguir X!”).

En este trabajo, la auto-regulación nos interesa desde la perspectiva de su uso en el aprendizaje. El aprendizaje auto-regulado se refiere al aprendizaje que es guiado por la Metacognición, la planificación, la auto-monitorización, la evaluación del propio progreso personal y la motivación para aprender (Zimmerman, 1990). Como es obvio, se trata de un tipo de propuesta que nada tiene que ver con la simple memorización de hechos y sí con procesos cognitivos superiores, como la construcción activa de nuevos conceptos o la transferencia de conocimiento. Zimmerman (2000) ha identificado cuatro niveles en el desarrollo de tareas complejas por los estudiantes: (a) observación, (b) imitación, (c) auto-control y (d) auto-regulación. Durante la observación, el aprendiz contempla un modelo que es experto en la ejecución de la tarea. En el segundo nivel o imitación, el aprendiz realiza la tarea personalmente con la guía del profesor o modelo que actúa como experto. En la fase de auto-control, el aprendiz practica por sí mismo hasta que, en la fase final, se auto-regula, aprendiendo el alumno a adaptar la ejecución de las tareas al entorno cambiante. Cualquier sistema computacional que buscara incluir todos estos elementos habría de contener (a) la demostración de un concepto o tarea cognitiva, (b) un apoyo inteligente y adaptativo dirigido hacia el alumno, (c) la auto-evaluación ejercida a través del sistema y (d) el uso de esa tarea para posteriores aprendizajes. Este método de aprendizaje es, desde

luego, más poderoso que la tradicional clase magistral pero presenta sus propios retos. Requiere la evaluación inteligente de los resultados del aprendizaje y no solo de pruebas de tipo sumativo. A su vez, sus procedimientos de apoyo al estudiante han de ser adaptativos, sociales e inteligentes, incluyendo la retroalimentación metacognitiva y la diagnosis de los posibles problemas que vayan surgiendo. En la medida en que un sistema de aprendizaje virtual sea capaz de proporcionar la suficiente interacción con el alumno, nos encontraremos con algo parecido a la “zona de desarrollo próximo” (ZDP) del alumno, esto es, con aquellas capacidades cognitivas disponibles en el alumno bajo la guía del adulto (Vygotsky, 1932/1979). Nosotros adoptaremos un enfoque similar al de “Betty’s Brain” porque, al representar el conocimiento como una red semántica o mapa conceptual, permite una profunda asimilación de ontologías y de relaciones causales y facilita atisbar la superación de la ZDP por parte del alumno.

Finalmente, y por lo que respecta al macrocomponente de la *autopoiesis*, Mayor et al. (1993, p. 59) inciden en que es la responsable de la “creación auto-emergente, resultando de la articulación entre el cierre y la apertura implicados por toda actividad cognitiva.” Resuena aquí el eco de Maturana y Varela (1973) cuando hablan de la propiedad de clausura en la producción de sistemas autopoieticos como los seres vivos: se trata de sistemas que se componen de elementos que generan procesos de producción que, colectivamente, dan lugar a más de aquellos elementos. Para el conocimiento, esta idea posee una relevancia decisiva porque permite dejar de lado el paradigma cognitivista simbólico que considera la cognición como un puro dispositivo para resolver problemas mediante representaciones. La cognición será entonces la historia del acoplamiento estructural que “enactúa” o hace emerger un mundo (Varela, 1990, p. 109). El eslabón entre la autopoiesis y la *enacción* consistirá en el reconocimiento de regularidades emergentes sin restricciones finales fijas, o sea, el proceso de apertura y realimentación continuada al que aluden Mayor et al. (1993) en su referencia al mecanismo metacognitivo. En la Metacognición sucede que lo endógeno y lo exógeno se definen mutuamente a través de un acoplamiento viable. Así como “los

sistemas vivientes humanos literalmente se construyen ellos mismos estructural y funcionalmente a través de selectivas transacciones informacionales, materiales y energéticas con su ambiente y a través de procesos constructivos internos” (Ford y Lerner, 1992, p. 101), el subsistema cognitivo goza de una gran capacidad auto-constructiva, gracias a los procesos de Metacognición (Mayor et al., 1993). Uno de los toques distintivos del Modelo Global de la Metacognición es considerar que la propiedad de la autopoiesis es un componente de la Metacognición tan básico como lo pueden ser la conciencia y el control. Gracias a la autopoiesis, la actividad metacognitiva, “no solo es consciente de sí misma, no solo se controla a sí misma, sino que va más allá de la conciencia y el control, construyéndose a sí misma” (Mayor et al., 1993, p. 59).

El primer elemento del macrocomponente autopoietico es el de la *dualidad* o conciliación entre la apertura y el cierre cognitivos. Por el cierre, la metacognición es circular, tal y como sucede con los macrocomponentes de la conciencia y el control. Por la apertura, la Metacognición integra la diversidad (dualidad sujeto-mundo) en unidad, formando un todo reconocible. La apertura también permite la incrustación sucesiva o *recursividad*, base de la “generatividad irrestricta” (Mayor et al., 1993, p. 60). En la recursión, el proceso de adquisición del conocimiento se va descomponiendo en subtarear menos complejas, hasta que se obtiene una solución completa, recomponiendo las subtarear resueltas. En cierto modo, se trata de la puesta en práctica de una tarear de “divide y vencerás”, que desbroza la tarear cognitiva en labores más manejables. El primer paso de una estrategia recursiva consiste en examinar si el problema que ha de ser afrontado representa o no un caso simple. Si lo es, se aplica la correspondiente solución simple. Si no lo es, se divide en subcasos, cada uno de los cuales es resuelto aplicando el mismo procedimiento recursivo. Aunque, a primera vista, parezca una estrategia meramente analítica, exige una perspectiva holística para parar el proceso de descomposición en el momento oportuno, en la línea de la operación de cierre de la que nos acabamos de hacer eco algo más arriba. Y naturalmente, cada parada conlleva “insertar la Metacognición en el decurso de la cognición”



(Mayor et al., 1993, p. 59). El tercer elemento de la autopoiesis es la *retroalimentación* que, en palabras de Mayor et al. (1993, p. 59), “implica un bucle de cierre, pero también una posibilidad de confirmar la actividad reconducida”. La idea de bucle de retroalimentación procede de la Cibernética. Un bucle de retroalimentación consta de una función de entrada, un valor de referencia, un elemento comparador de valores y una función de salida. La función de entrada suele hacerse equivalente a la percepción. El valor de referencia es un segundo elemento de información que se añade a la función de entrada. El comparador discrimina si son diferentes el valor de entrada y el valor de referencia. La función de salida puede considerarse como la conducta del sistema. Si la comparación no genera diferencias, la función de salida se mantiene igual. Si, en cambio, surge una discrepancia, la función de salida varía. En el siguiente esquema representamos un bucle de retroalimentación:



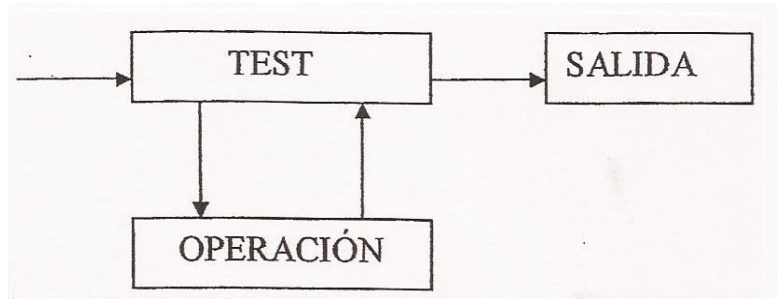
**Figura 9** - Un esquema de bucle de retroalimentación.

Como es natural, el entorno está sometido a constantes cambios que inciden en la función de entrada del bucle.

Hay dos tipos de bucles de retroalimentación (Franklin, Powell y Abbas, 1994): en un bucle negativo o bucle de reducción de las discrepancias, la función de salida elimina cualquier discrepancia detectada entre el valor de entrada y el valor de referencia, para así alcanzar una determinada meta; en un bucle positivo o de aumento de las discrepancias, el valor de referencia es el valor a evitar, funcionando como una especie de “anti-meta” (Carver y Scheier, 2000, p. 44).

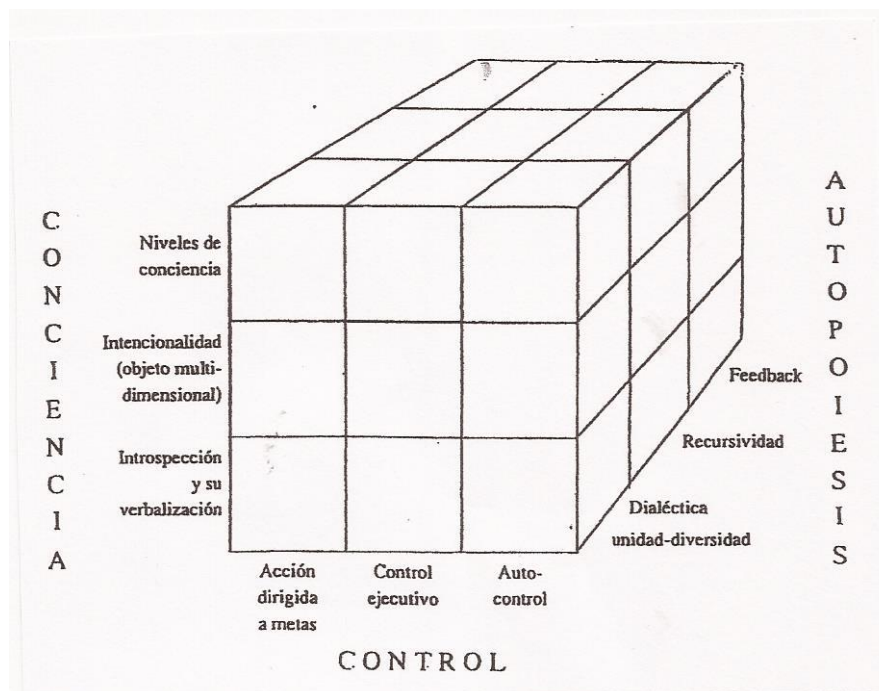
En Ciencia Cognitiva, la idea de retroalimentación entró con fuerza a partir de la unidad TOTE de Miller, Galanter y Pribram (1960). Estos autores buscaban introducir una unidad teórica explicativa de los actos reflejos y de los procesos generales de control implicados en la conducta. La unidad TOTE (Test-Operate-Test-Exit) consiste de una primera fase preparatoria (por

ejemplo, levantar un martillo) y de una segunda fase consumatoria u operacional (golpear un clavo con el martillo). Si hay congruencia entre la primera y la segunda fase, se finaliza el proceso y se sale del bucle. Si se da incongruencia, el proceso se repite (Fig. 10):



**Figura 10** - .Diagrama de la unidad TOTE.

Reflejamos mediante un diagrama, extraído de Mayor et al. (1993, p. 57), los distintos componentes del Modelo Global de la Metacognición (MGM). Éste presenta una estructura tridimensional de cubos con la finalidad de dar a entender que dichos componentes se van entrecruzando entre sí a lo largo y ancho de los tres macrocomponentes que los contienen. Por lo tanto, responde a un enfoque complejo y activo de la Metacognición, en el que no hay elementos aislados, sino que, como es obvio, todos se interrelacionan:



**Figura 11** - Componentes de la Metacognición según el MGM.

Precisamente, la complejidad del fenómeno metacognitivo a la que acabamos de aludir, depende, en buena parte, de la gran riqueza de su objeto, o sea, de la propia cognición. Y para hacerle justicia, los autores del modelo se apoyan en el modelo de la Mente de Mayor (1990), que caracteriza el fenómeno cognitivo a través de las siguientes dimensiones: (1) los *componentes básicos* del sistema, correspondientes a tres niveles: (1a) *representacional*, cuyos elementos son las representaciones, las cuales admiten una gran diversidad, en función de su naturaleza (simbólica y/o conexionista), su formato (proposicional y/o analógico), su nivel (sintáctico y/o semántico), su modalidad (esquemas y/o modelos mentales), etc.; (1b) *procesual*, o procedimientos que procesan representaciones y operan con ellas. El procesamiento puede ser consciente y/o inconsciente, en serie y/o en paralelo, dirigido por los datos y/o por el conocimiento previo, etc; (1c) *funcional*, que reúne las múltiples causas, razones y condiciones de la actividad mental (biológicas, socioculturales, personales, etc.). En segundo lugar, (2) las *tareas* que ha de afrontar el sistema en su funcionamiento, como son (2a) la *dualidad*, (2b) la *regulación* y (2c) la *adaptabilidad*. La dualidad refiere al desdoblamiento de la realidad, algo propio de la actividad mental. La regulación tiene que ver con el procesamiento reglado de la realidad, mientras que la adaptabilidad expresa “la adaptación funcional de la mente al mundo y la adaptación del mundo modificado por la mente, a la propia mente” (Mayor et al., 1993, p. 62). En tercer lugar, (3) los *modos de actuar* de la mente, como son (3a) la *organización sistémica*, que permite articular la unidad y la diversidad, las representaciones y las reglas, etc., (3b) la *flexibilidad*, que ha de permitir el mantenimiento de alternativas diferentes y la interacción entre ellas y (3c) la *reflexividad* o capacidad de la mente para autolimitarse y autosuperarse.

Así pues, el Modelo Global de la Metacognición (MGM) de Mayor, Suengas y González Marqués, es un modelo que concibe la Metacognición como el resultado del producto cartesiano de la actividad metacognitiva-la primera cognición-, por la cognición o segunda cognición. Su estructura queda reflejada en la siguiente figura:

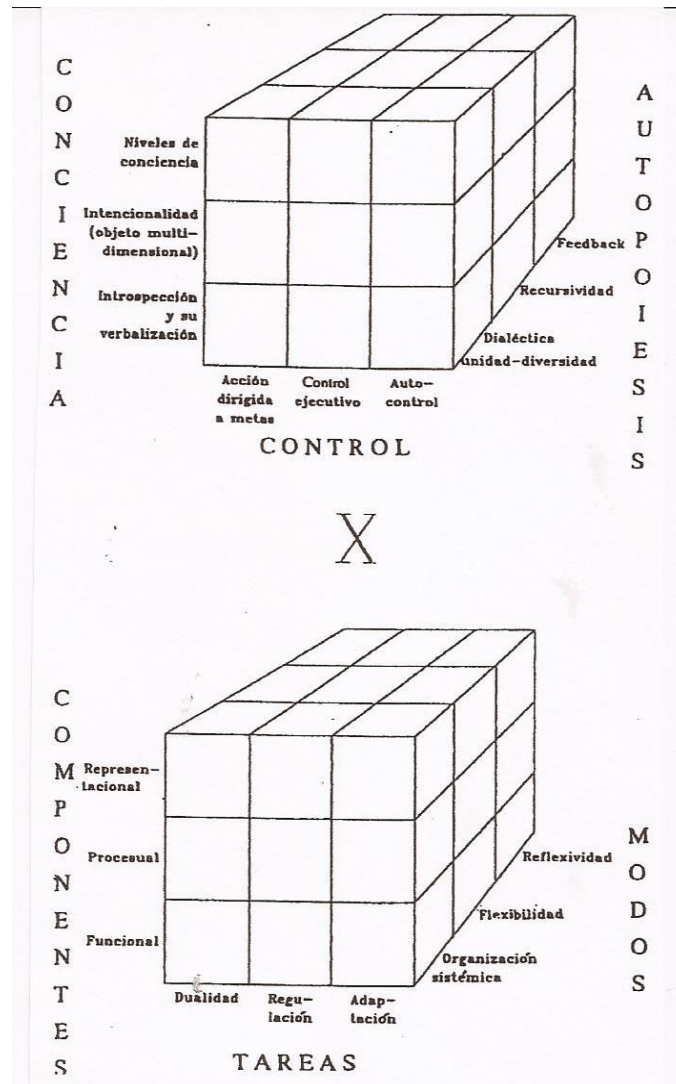


Figura 12.- Estructura del MGM (Mayor et al., 1993, p. 64).

El eje teórico que anima este modelo es que la Metacognición es también cognición, ajustándose a los aspectos que acabamos de señalar arriba pero añadiendo la toma de *conciencia*, el *control* del proceso y la *autopoiesis*. Por ello no es de extrañar que existan rasgos que se entrecruzan y que se remiten unos a otros. No obstante, se trata de un modelo manejable a pesar de su exhaustividad. Y lo es, porque a partir de él, puede elaborarse un modelo reducido de cuestionario metacognitivo que dé cuenta de todos los aspectos básicos de la Metacognición (Mayor et al., 1993). El cuestionario de evaluación del MGM (CEMGM) ya fue usado hace años con alumnos de la Facultad de Psicología de la Universidad Complutense de Madrid por los autores del mismo, y ahora, en una versión muy reducida y adaptada al diseño de nuestro

programa PSICO-A, volverá a someterse a prueba con alumnos de la asignatura de Psicología de Segundo de Bachillerato de un Instituto de Educación Secundaria de Madrid. Téngase en cuenta que se trata de evaluar el desarrollo de la Metacognición en sujetos con una cierta formación y con una supuesta capacidad metacognitiva elevada, por lo que se revela como un instrumento perfecto para nuestro propósito de aplicarlo al diseño de un sistema computacional de aprendizaje para sujetos preuniversitarios y no para niños que estén en pleno proceso del paulatino descubrimiento de sus habilidades cognitivas de orden superior. En la sección siguiente introducimos CEMGM en el contexto de otros cuestionarios frecuentemente usados para evaluar la facultad general de la Metacognición.

### **2.3. INSTRUMENTOS DE EVALUACIÓN DE LA METACOGNICIÓN**

La mayoría de los sistemas evaluadores de la Metacognición emplean el instrumento del autoinforme, a veces graduado a través de escalas de tipo Likert (Mayor et al., 1993). Pero, como fácilmente es de suponer, la variedad de métodos es muy considerable. Por ejemplo, se realizan entrevistas (Zimmerman y Martínez-Pons, 1990), análisis de protocolos de pensamiento expresado en voz baja (Afflerbach, 2000), observaciones (Veenman y Spaans, 2005), estimulación de los recuerdos (Van Hout-Wolters, 2000) o incluso registro de los movimientos oculares (Kinnunen y Vauras, 1995). Cada uno de estos métodos presenta aspectos positivos y negativos. Por ejemplo, los cuestionarios son ideales para aplicar a grandes grupos, por la economía de aplicación que suponen, mientras que los protocolos que recogen el pensamiento mantenido en voz baja, exigen ser aplicados individualmente. Requieren, por lo tanto, mayor trabajo en su aplicación, pero también pueden reflejar mejor que los primeros la conducta real de los sujetos durante la ejecución de la tarea. Veenman (2005) pone de manifiesto que la distinción entre métodos “on-line” frente a métodos “off-line” para medir la Metacognición, es realmente aclaratoria. Los primeros miden la Metacognición como un

evento. Permiten que apenas se pierda información puesto que realizan la medición en el mismo momento en que se ejecuta la tarea y permiten evitar, en cierto sentido, la proliferación de respuestas socialmente deseables por parte de los sujetos. Ejemplos de instrumentos “on-line”, aparte de los ya mencionados, como el registro de los movimientos oculares o la toma de referencias basadas en el pensamiento en voz baja, son la observación y registro de las conductas mediante vídeo, la detección de errores en tareas de manipulación situacional o el análisis de trazos. Los métodos “off-line” son presentados antes o después de la ejecución de la tarea. Y así ejemplifican este tipo de métodos, las entrevistas orales y de estimulación de recuerdos, los juicios del profesor o los cuestionarios de autoinforme. Nosotros vamos a emplear un cuestionario metacognitivo en nuestro Sistema de aprendizaje, pero siempre teniendo a la vista que verificaremos los resultados de los alumnos de manera precisa, ya que sus respuestas quedarán grabadas en el equipo en el mismo instante en el que se vayan produciendo. Será el rendimiento metacognitivo de los alumnos registrado en PSICO-A, el que facilite el reajuste continuo de las preguntas elaboradas para el cuestionario. De ahí que las preguntas del cuestionario que den lugar a una mayor ganancia de habilidades metacognitivas en los alumnos serán las que más sirvan para ir rediseñando nuestro Sistema. Téngase en cuenta que nuestro Sistema simplemente se limita a plantear el cuestionario como elemento “off-line” para recabar la capacidad metacognitiva de los alumnos ante el estudio.

El diseño y la aplicación de escalas para medir las capacidades metacognitivas en los sujetos, ha ido “in crescendo” en la última década. En el caso de niños, ya Fortunato, Hecht, Tittle y Álvarez (1991) comunicaron hace más de veinte años, que habían elaborado nueve preguntas para averiguar el desarrollo de la Metacognición en niños de diferentes edades. Fang y Cox (1999) estudiaron la conducta metacognitiva de preescolares. Desoete, Roeyers y Buysse (2001) crearon el instrumento de “Evaluación de Atribuciones Metacognitivas” (MAA) y el test de “Evaluación del Conocimiento y de tareas Metacognitivas” (MSA), y los aplicaron a niños de preescolar. Merece la pena destacar al respecto ESCOLA (Jiménez, 2004; Jiménez, Puente,

Alvarado y Arrebillaga, 2009). La “Escala de Conciencia Lectora” (ESCOLA) es un instrumento concebido para medir la metacomprensión lectora en niños preadolescentes. Está formado por 56 ítems en los que se plantean “situaciones de lectura” (Jiménez et al., p. 787) como pequeños dilemas ante los cuales el alumno debe enfrentarse. Cada dilema manifiesta un cierto nivel de conciencia lectora. Tales ítems se componen de *procesos*, *variables* y *comportamientos estratégicos* pero también contemplan la *planificación* a través de la búsqueda de información, la actitud ante la lectura y la selección de las estrategias lectoras más adecuadas. También evalúan las variables *persona*, *tarea* y *texto*. Esta última variable considera aspectos tales como el vocabulario, la sintaxis, la coherencia o la estructura del texto. En conjunto, ESCOLA permite medir la dificultad para diferenciar entre textos sencillos y difíciles, la identificación de los elementos más importantes, la estructura textual o la detección de confusiones y anomalías-características todas ellas esenciales para una actividad tan relevante y compleja como la comprensión lectora-. Pero lo que a juicio del autor de este trabajo de doctorado marca las diferencias a favor de esta escala es que es pionera en vincular la función ejecutiva con el control metacognitivo en la lectura (Fernández, Jiménez, Alvarado y Puente, 2010). Este enfoque está empezando a ser aplicado para reforzar el control ejecutivo en niños de Educación Infantil y emplea estrategias específicas de enseñanza como el método de la palabra clave, el método de los lugares o la práctica distribuida (Puente, Jiménez y Llopis, 2012).

Entre las escalas de evaluación concebidas para ser usadas con adultos destacamos, en primer lugar, la “Escala de Evaluación de la Metacognición” (MAS) de Semerari et al. (2003). Originalmente diseñada para detectar la capacidad de metapensamiento en las personas afectadas por severos trastornos de personalidad, ha sido recientemente adaptada para medir la capacidad metacognitiva de sujetos con una personalidad normal de base. El “MAS” contiene cuatro escalas: (a) comprensión de los estados mentales de uno mismo; (b) comprensión de los estados mentales de otros individuos; (c) “descentramiento” o capacidad para encontrar en los demás motivos independientes a los de uno mismo y (d) “maestría” o capacidad para

disponer de estrategias efectivas de acción con la intención de resolver tareas cognitivas complejas o de afrontar estados mentales problemáticos.

Un instrumento de evaluación muy utilizado actualmente es la “Escala del Entorno de Aprendizaje para la Orientación Metacognitiva, aplicada a las clases de Ciencias” (MOLES-S). Su creador es Thomas (2003) y consta de ocho dimensiones: (1) demandas metacognitivas; (2) explicaciones del profesor; (3) argumentaciones entre estudiantes; (4) razonamientos entre el profesor y el estudiante; (5) opiniones del estudiante; (6) control distribuido; (7) ayuda del profesor y (8) apoyo emocional. En el siguiente cuadro, transcribimos al castellano la descripción de cada una de estas dimensiones y un ejemplo de elemento ilustrativo de cada una de ellas:

<b>Dimensión</b>	<b>Descripción</b>	<b>Ejemplo</b>
(1) Demandas metacognitivas.	Se pregunta a los estudiantes acerca de cómo aprenden y de cómo pueden mejorar su aprendizaje.	“Piensa en cómo aprendes.”
(2) Explicaciones del Profesor.	Aprendizaje de los alumnos a partir de las explicaciones recibidas por el profesor.	“El profesor explica a los estudiantes cómo mejorar su aprendizaje de las Ciencias.”
(3) Argumentaciones entre estudiantes.	Los estudiantes discuten entre sí sus procesos de aprendizaje.	“Cómo aprendes Ciencia.”
(4) Razonamientos entre el profesor y el estudiante.	Los estudiantes discuten con el profesor sus procesos de aprendizaje.	“Cómo es posible mejorar mi aprendizaje de la Ciencia.”
(5) Opiniones del estudiante.	Los estudiantes piensan que es legítimo el cuestionamiento de los métodos del profesor.	“Por qué tengo que realizar tal tarea.”
(6) Control distribuido.	Los estudiantes colaboran con el profesor en la planificación de su aprendizaje.	“Ayúdame a decidir qué actividad es la más adecuada para ti.”
(7) Ayuda del profesor.	El profesor anima a los estudiantes y encauza la realización de sus tareas.	“Vas a mejorar tu aprendizaje con mi ayuda.”
(8) Apoyo emocional.	Los estudiantes reciben el apoyo emocional del profesor.	“Respeto tus ideas.”

**Tabla 1** - Descripción ilustrativa de MOLES-S (Thomas, 2003, p. 184).



La escala MOLES-S consiste de 67 ítems y 8 subescalas, cada escala correspondiendo a cada una de las 8 dimensiones mencionadas y se evalúa a través del uso de una escala de Likert de 5 puntos (1=casi nunca, 2=raramente, 3=a veces, 4=a menudo y 5=casi siempre).

Muy recientemente, Sandí-Ureña (2008) ha introducido el “Inventario de Actividades Metacognitivas” (MCA-I). Este instrumento de medida fue diseñado para detectar las habilidades metacognitivas de los estudiantes en la resolución de problemas, más que para medir su grado de conocimiento metacognitivo; esto es, la regulación de la cognición mediante la planificación, la monitorización y la evaluación. El autor acudió a un panel de expertos (4 profesores de su Facultad y 4 estudiantes graduados) para elaborar su escala. A cada experto se le preguntó por una lista de 10 capacidades que ellos veían correlacionar con la resolución exitosa de problemas y, en la versión preliminar, fueron introducidos 53 ítems. Cada ítem era respondido seleccionando uno de los 5 puntos de una escala de Likert (desde 1=muy en desacuerdo a 5=muy de acuerdo). Mientras que hay ítems codificados positivamente, puesto que su respuesta afirmativa implica reconocer un aspecto positivo para la evaluación de la capacidad metacognitiva, otros reflejan un aspecto negativo para la misma. A continuación inserto la lista de 27 ítems a la que se vió reducida la lista inicial:

Ítem	Codificación	Enunciado
1	+	Leo con detenimiento el enunciado de un problema para entenderlo perfectamente y determinar qué se pide.
2	+	Cuando he de resolver un problema intento profundizar en sus conceptos para así aplicarlos en la resolución de otros problemas.
3	+	Selecciono la información relevante del enunciado del problema.
4	+	Una vez alcanzada la solución, examino si está de acuerdo con lo que estaba buscando.
5	+	Intento relacionar problemas

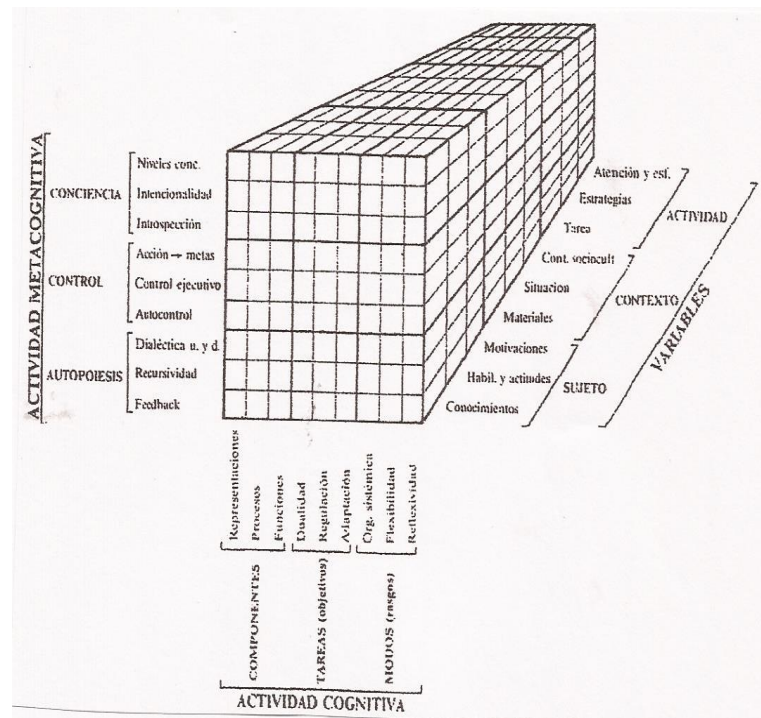
		no familiares con situaciones o problemas ya resueltos.
6	+	Pienso en cómo expresaré la respuesta.
7	+	Voy examinando los resultados intermedios de los cálculos.
8	+	Identifico el concepto buscado en un problema antes de intentar resolverlo.
9	+	Considero la información que puede faltar en el enunciado del problema y que es necesaria para resolverlo.
10	+	Repaso mi solución y los cálculos realizados.
11	+	Uso gráficos para entender mejor los problemas.
12	+	Mientras resuelvo problemas experimento sensaciones de creatividad.
13	+	Antes de intentar resolver un problema, anoto rápidamente aquellos conceptos que podrían ayudarme a solucionarlo.
14	+	Previamente a la resolución del problema encuentro relaciones entre las cantidades, factores o conceptos implicados.
15	+	Estoy seguro de que la solución encontrada es la correcta.
16	+	Planeo cómo solucionar un problema antes de comenzar a resolverlo.
17	+	Reflexiono sobre los aspectos que creo que son relevantes para un problema.
18	+	Analizo los pasos de mi plan.
19	+	Intento dividir el problema para resolverlo.
20	-	No pierdo tiempo en intentar resolver problemas que no me han explicado con anterioridad.
21	-	Cuando resuelvo problemas, no pienso en los conceptos implicados antes de buscar una solución.
22	-	Una vez que ya sé cómo

		solucionar un tipo de problema, no dedico tiempo a pensar en los conceptos implicados.
23	-	No examino que mi respuesta tenga sentido.
24	-	Si no sé exactamente cómo resolver un problema, intento inmediatamente suponer una respuesta.
25	-	Comienzo a buscar la solución de los problemas sin haber leído todos los detalles expuestos en el enunciado de los mismos.
26	-	Apenas dedico tiempo a los problemas si no estoy seguro de que puedo resolverlos.
27	-	Si no puedo resolver un problema, memorizo el camino que he seguido para intentar resolverlo, aún cuando sea incorrecto

**Tabla 2** - Inventario de Actividades Metacognitivas (Sandí-Ureña, 2008, pp. 33-35).

#### **2.4. CUESTIONARIO DE EVALUACIÓN DEL MODELO GLOBAL DE LA METACOGNICIÓN (CEMGM)**

El CEMGM ha de tener en cuenta todas las dimensiones consideradas y el producto cartesiano entre ellas. Al incluir la actividad metacognitiva tres macrocomponentes con tres componentes cada uno y la actividad cognitiva, tres macrodimensiones con tres dimensiones cada una, la matriz resultante tendrá 81 celdillas que conforman las unidades básicas de la evaluación. Si en cada una de ellas se consideran las distintas variables que afectan a la actividad metacognitiva ( $3 \times 3 = 9$ ), el resultado es una matriz tridimensional de 729 celdillas, representativas de las diferentes unidades de evaluación, como puede apreciarse en la siguiente figura (Mayor et al., 1993, p. 169):



**Figura 13 -** Modelo tridimensional evaluador de la Metacognición.

Evidentemente, este modelo de evaluación es tan exhaustivo que si no se simplifica (sin perder ninguna dimensión esencial), resulta inaplicable. Por ello, los autores optan por simplificar su aplicación al cuestionario. Su cuestionario incluye 27 elementos, relativos a los tres macrocomponentes de la actividad metacognitiva, en combinación ortogonal con las nueve dimensiones de la actividad cognitiva; se añaden 9 elementos para especificar aquellos procesos como la atención, el recuerdo, el pensamiento y el lenguaje. Para finalizar, otros 9 elementos más se corresponden a cada una de las variables de la Metacognición que, en este caso, no se combinan ortogonalmente con las anteriores. En total, un cuestionario de 45 elementos. Veamos en la siguiente figura la distribución de tales ítems, tal y como acabamos de consignarla:

ACTIVIDAD COGNITIVA		ACTIVIDAD METACOGNITIVA			VARIABLES		
		CONCIENCIA	CONTROL	AUTOPOIESIS			
COMPONENTES	Representaciones	1	13	25	Atención	37	Conocimientos
		2	14	26			
		3	15	27			
	Procesos	4	16	28	Memoria	38	Habilidades y actitudes
		5	17	29			
		6	18	30			
	Funciones	7	19	31	Pensamiento	39	Motivaciones
		8	20	32			
		9	21	33			
	Dualidad	10	22	34	Lenguaje	40	Materiales
		11	23	35			
		12	24	36			
Regulación					41	Situación	
					42		
					43		
Adaptación					44	Contexto sociocultural	
					45		
Organización sistémica						Tareas	
Flexibilidad						Estrategias	
Reflexividad						Atención y esfuerzo	

**Figura 14 -** Matriz reducida del CEMGM y ubicación de sus ítems (tomado de Mayor et al., 1993, p. 170).

Cada ítem del cuestionario incluye cuatro respuestas, tres de las cuales implican el reconocimiento de la existencia de actividad metacognitiva y una que no presupone dicha actividad. Cada respuesta puede ser graduada a partir de una escala de cinco categorías (1. siempre/todo; 2. muchas veces/bastante; 3. unas veces sí y otras no/regular-a medias-; 4. pocas veces/poco; 5. nunca/nada). Insertamos a continuación el cuestionario. Seleccionaremos 10 ítems del mismo que, retocados, aparecerán en la ventana de PSICO-A dedicada al área metacognitiva. Puede encontrarse en Mayor et al. (1993, pp. 171-178):

## **CEMGM**

### **A) COMPONENTES METACOGNITIVOS**

#### **1. Toma de conciencia**

##### **1.1. Componentes cognitivos**

##### **1.1.1. Representaciones**

- 1) El conocimiento que tengo del mundo, de los otros, y de mí mismo:

- a) lo manejo a través de palabras,

- b) lo manejo a través de imágenes,
- c) lo manejo a través de ideas,
- d) lo manejo sin más, sin saber bien a través de qué.

#### 1.1.2. Procesos

##### 2) Cuando tengo que recordar algo:

- a) sé lo que tengo que hacer para recordarlo después,
- b) sé si es fácil o difícil recordarlo,
- c) tiendo a rellenar las lagunas del recuerdo,
- d) lo recuerdo sin más, sin hacer nada de particular.

##### 3) Cuando pienso acerca de algo o trato de resolver un problema:

- a) tengo conciencia de los pasos que tengo que dar,
- b) tengo conciencia de las reglas que tengo que aplicar,
- c) tengo conciencia de si lo hago bien o mal,
- d) simplemente pienso o resuelvo el problema o no, pero sin quebrarme más la cabeza.

##### 4) Cuando tengo que prestar atención:

- a) me doy cuenta de que estoy concentrado/a en un punto,
- b) me doy cuenta del esfuerzo que tengo que hacer para mantenerla,
- c) me doy cuenta de que puedo atender a dos cosas a la vez,
- d) simplemente atiendo, porque con eso ya tengo bastante.

##### 5) Cuando tengo que hablar:

- a) me doy cuenta de si es oportuno o no,
- b) me doy cuenta de si las palabras que utilizo son las adecuadas,
- c) me doy cuenta de que la organización de las frases es importante,
- d) simplemente hablo, sin pensar más en

cómo hablo.

### 1.1.3. Funciones

6) Cuando atiendo, conozco, recuerdo o pienso en algo:

- a) tengo claro cuáles son mis metas y objetivos,
- b) tengo buenas razones para hacerlo y, si no, las busco,
- c) tengo conciencia de ello en función de que lo haga,
- d) simplemente lo hago, sin ocuparme de nada más.

### 1.2.1. Dualidad

7) Cuando tengo conciencia de algo:

- a) me doy cuenta de que una cosa es la conciencia que tengo y otra la realidad,
- b) solo tengo en cuenta la realidad de ese algo,
- c) solo tengo en cuenta lo que tengo en mi conciencia,
- d) simplemente la tengo sin hacer estas distinciones.

8) Cuando soy consciente de alguna realidad:

- a) me doy cuenta de que está ordenada, que se ajusta a reglas,
- b) tengo conciencia de que mi mente introduce un cierto orden en esa realidad,
- c) me doy cuenta de que todo depende del azar
- d) simplemente soy consciente de ello, sin plantearme si la realidad está ordenada o no.

### 1.2.2. Adaptación

9) Cuando soy consciente de algo:

- a) me doy cuenta de que ese ser consciente depende de ciertos condicionamientos,
- b) me doy cuenta de que ese ser consciente se adapta a ciertos objetivos,
- c) me doy cuenta de que todo lo que hago ( atender, recordar, pensar) está

- interrelacionado,  
d) simplemente tengo conciencia, sin saber si está organizada o no.

### 1.3. *Modos (rasgos/características)*

#### 1.3.1. Organización sistémica

10) Cuando tengo conciencia de algo:

- a) me doy cuenta de que esta conciencia está organizada,
- b) me doy cuenta de que el funcionamiento de mi mente es coherente,
- c) me doy cuenta de que todo lo que hago ( atender, recordar, pensar) está interrelacionado,
- d) simplemente tengo conciencia, sin saber si está organizada o no.

#### 1.3.2. Flexibilidad

11) Cuando soy consciente de alguna realidad:

- a) me doy cuenta de que mi mente se ajusta a las restricciones y posibilidades de esa realidad,
- b) esa conciencia se modifica según las circunstancias,
- c) el trabajo de la mente cambia en función de la tarea, los objetivos, el tiempo.
- d) simplemente soy consciente.

#### 1.3.3. Reflexividad

12) Cuando tengo conciencia de alguna realidad:

- a) soy consciente de que tengo esa conciencia,
- b) controlo mi propio nivel de conciencia,
- c) distingo entre darme cuenta de la realidad y la conciencia que tengo de mi propia mente,
- d) simplemente tengo conciencia, sin darle más vueltas.

## 2. **Control**

### 2.1. *Componentes*



### 2.1.1.Representaciones

13) Cuando trato de representarme la realidad, normalmente:

- a) elaboro planes y estrategias para lograr esa representación,
- b) selecciono metas y objetivos de esa representación,
- c) controlo la adecuación entre procedimientos y fines,
- d) me la represento directamente, sin entrar en más detalle.

### 2.1.2. Procesos

14) Cuando presto atención a algo:

- a) selecciono y pongo en claro cuáles son los objetivos de esa atención,
- b) controlo el proceso de atención,
- c) evalúo si soy eficaz o no al atender,
- d) atiendo sencillamente, porque con atender tengo bastante.

15) Cuando recuerdo algo:

- a) selecciono y pongo en claro cuáles son los objetivos del recuerdo,
- b) controlo el proceso de recordar,
- c) evalúo si soy eficaz o no al recordar,
- d) recuerdo sencillamente, porque con recordar tengo bastante.

16) Cuando pienso en algo:

- a) selecciono y pongo en claro cuáles son los objetivos de mis pensamientos,
- b) controlo el proceso de pensar,
- c) evalúo si soy eficaz o no al pensar,
- d) pienso sencillamente, porque con pensar tengo bastante.

17) Cuando hablo de algo:

- a) selecciono y pongo en claro cuáles son los objetivos al hablar,
- b) controlo el proceso de hablar,
- c) evalúo si soy eficaz o no al hablar,

- d) hablo sencillamente, porque con hablar tengo bastante.

### 2.1.3. Funciones

18) Cuando pongo en funcionamiento mi mente para recordar o pensar:

- a) me preocupo de saber cuáles son las condiciones de ese funcionamiento,
- b) me preocupo de saber cuáles son las causas y antecedentes de ese funcionamiento,
- c) me preocupo de saber cuáles son las razones de ese funcionamiento,
- d) simplemente la pongo en funcionamiento, sin averiguar acerca de cómo funciona.

## 2.2. Tareas o problemas

### 2.2.1. Dualidad

19) Cuando distingo entre mi mente y la realidad:

- a) selecciono las metas y objetivos de esa distinción,
- b) utilizo estrategias y procedimientos para distinguirlas,
- c) controlo el proceso y la eficacia de esa distinción,
- d) solo la distingo directamente, sin ocuparme de nada más.

### 2.2.2. Regulación

20) Cuando descubro la existencia de orden y reglas:

- a) selecciono las metas y objetivos de ese descubrimiento,
- b) utilizo estrategias y procedimientos para descubrirlos,
- c) controlo el proceso y la eficacia de ese descubrimiento,
- d) lo descubro directamente, sin ocuparme de nada más.

### 2.2.3. Adaptación

21) Cuando mi mente se adapta a la realidad o a mis propósitos e intenciones:

- a) selecciono las metas y objetivos de esa adaptación,
- b) utilizo estrategias y procedimientos para adaptarla,
- c) controlo el proceso y la eficacia de esa adaptación,
- d) se adapta sencillamente, sin que yo me ocupe lo hace.

### 2.3. *Modos (rasgos)*

#### 2.3.1. Organización sistémica

22) Al organizar mis conocimientos, recuerdos y pensamientos:

- a) selecciono las metas y objetivos de esa organización,
- b) utilizo estrategias y procedimientos para organizarlos,
- c) controlo el proceso de relacionarlos y articularlos, así como su eficacia,
- d) lo organizo sencillamente, sin ocuparme de cómo lo hago

#### 2.3.2. Flexibilidad

23) Cuando mi mente actúa flexiblemente en función de restricciones y demandas diversas:

- a) selecciono las metas y objetivos de ese funcionamiento flexible,
- b) utilizo estrategias y procedimientos para flexibilizar el funcionamiento,
- c) controlo el proceso de flexibilización, así como su eficacia,
- d) simplemente actúo con flexibilidad, sin saber cómo ni ocuparme de ello.

#### 2.3.3. Reflexividad

24) Cuando reflexiono sobre mi mismo/a y trato de

autocontrolarme:

- a) selecciono las metas y objetivos de esa reflexión y autocontrol,
- b) utilizo estrategias y procedimientos para reflexionar y autocontrolarme,
- c) controlo el proceso de reflexión y de autocontrol, así como su eficacia,
- d) sencillamente reflexiono y me autocontrolo, sin saber bien cómo.

### **3. Autopoiesis**

#### *3.1. Componentes*

##### **3.1.1. Representaciones**

25) Cuando mi mente se representa la realidad del mundo, de los otros o de mi mismo/a:

- a) distingo mi representación y la realidad y a la vez los relaciono,
- b) incremento mis conocimientos insertando indefinidamente nuevas representaciones,
- c) siento que mi mente va más allá de sí misma y de la realidad,
- d) simplemente se la representa directamente, sin cuestionarse nada más.

##### **3.1.2. Procesos**

26) Cuando atiendo a algo:

- a) mi atención abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad aparente,
- b) soy capaz de mejorar mi atención dándome cuenta de cómo atiendo,
- c) distingo entre lo que hago al atender y la realidad, pero al final tienden a ser lo mismo,
- d) no hago otra cosa que atender, ni me planteo ninguna cuestión sobre ello.

27) Cuando recuerdo algo:

- a) mi recuerdo abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad recordada,
- b) puedo mejorar mi recuerdo dándome cuenta

- de cómo recuerdo,
- c) distingo entre mi recuerdo y ese algo, aunque al final resulta ser lo mismo,
- d) simplemente lo recuerdo, sin darle más vueltas.

28) Cuando pienso en algo:

- a) mi pensamiento abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad pensada,
- b) puedo mejorar mi pensamiento dándome cuenta de cómo pienso,
- c) distingo entre mi pensamiento y ese algo, aunque al final resulta ser lo mismo,
- d) simplemente lo pienso, sin darle más vueltas.

29) Cuando hablo de algo:

- a) el hablar abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad de la que hablo,
- b) puedo hablar mejor dándome cuenta de cómo hablo,
- c) distingo entre lo que hablo y la realidad, aunque al final resulta ser lo mismo,
- d) simplemente hablo, sin darle más vueltas.

### 3.1.3. Funciones

30) Cuando funciona mi mente teniendo en cuenta las condiciones de la realidad:

- a) distingo entre las condiciones de la realidad y el funcionamiento de mi mente, aunque al final son una misma cosa,
- b) soy capaz de mejorar el funcionamiento de mi mente si me doy cuenta de cuáles son las condiciones de la realidad,
- c) al funcionar mi mente de acuerdo con las condiciones de la realidad voy más allá de mi propia mente,
- d) simplemente funciona, sin entrar en otras consideraciones.

## 3.2. *Tareas o problemas*

### 3.2.1. Dualidad

31) La distinción entre mi mente y la realidad:

- a) me permite ir más allá de mí mismo/a,
- b) me permite ir más allá de la realidad,
- c) me permite ir más allá de mí mismo/a y de la realidad,
- d) no la tomo en cuenta, ni hago nada con ella.

### 3.2.2. Regulación

32) Al poner mi mente orden en la realidad y descubrir reglas:

- a) siento que mi mente se impone a la realidad,
- b) siento que la realidad se impone a mi mente,
- c) siento que se incrementa el orden de la realidad y de mi mente,
- d) no pienso en nada de esto.

### 3.2.3. Adaptación

33) Cuando mi mente se adapta a la realidad o a mis propósitos e intenciones:

- a) siento que mi mente se impone a la realidad,
- b) siento que la realidad se impone a mi mente,
- c) el funcionamiento de mi mente incrementa de manera progresiva esa adaptación,
- d) simplemente se adapta, sin que yo me ocupe de ello.

## 3.3. *Modos (rasgos)*

### 3.3.1. Organización sistémica

34) Cuando pongo en relación y organizo mis conocimientos, recuerdos y pensamientos:

- a) siento que esa organización fortalece el funcionamiento de mi mente,
- b) siento que esa organización me acerca más a la realidad,
- c) siento que esa organización me permite ir más allá de la realidad y de mi mente,
- d) simplemente los organizo sin saber cómo.

### 3.3.2. Flexibilidad

35) Cuando mi mente es flexible en función de restricciones y demandas diversas:

- a) siento que mi mente maneja mejor la realidad,
- b) siento que mi mente es más segura y eficaz,
- c) siento que mi mente va más allá de sí misma y de la realidad,
- d) simplemente lo es, sin que yo me dé cuenta de ello.

### 3.3.3. Reflexividad

36) Al reflexionar sobre mí mismo/a y autocontrolarme:

- a) siento que mi mente maneja mejor la realidad,
- b) siento que mi mente es más segura y eficaz,
- c) siento que mi mente es capaz de ir más allá de sí misma y de la realidad,
- d) simplemente reflexiono y me autocontrolo sin más.

## **B) VARIABLES DE LA METACOGNICIÓN**

### **1. Sujeto**

#### *1.1. Conocimientos*

37) Los conocimientos previos que tengo acerca de algo:

- a) me facilitan el pensar, recordar o atender sobre ello,
- b) me ayudan a utilizar mejores estrategias,
- c) me permiten reflexionar mejor sobre ello,
- d) los uso sencillamente, sin plantearme más cuestiones.

#### *1.2. Habilidades y disposiciones*

38) Cuando tengo dificultades para atender, recordar o pensar:

- a) pienso que no tengo habilidad para ello,
- b) busco la causa en las circunstancias externas
- c) dedico a ello un esfuerzo mayor,
- d) me parece natural y no hago nada de particular.

### 1.3. *Motivaciones*

- 39) Cuando tengo que atender, recordar o pensar:
- a) me siento interesado/a en ello por sí mismo,
  - b) solo lo hago si con ello tengo que conseguir algo,
  - c) me aburre y me canso enseguida,
  - d) lo hago directamente sin preguntarme por qué.

## 2. Contexto

### 2.1. *Materiales (estímulos)*

- 40) Cuando tengo que atender, recordar o pensar con eficacia:
- a) lo hago siempre igual,
  - b) siento que todo depende de la dificultad de los materiales que utilizo,
  - c) sé qué materiales son relevantes y cuáles no,
  - d) procuro hacerlo sin ocuparme de otras cuestiones.

### 2.2. *Situaciones*

- 41) Cuando tengo que atender, recordar o pensar con eficacia:
- a) me da igual hacerlo en cualquier situación,
  - b) lo hago de forma diferente en cada situación,
  - c) estoy pendiente de mi relación con los que me rodean o con los que me demandan hacerlo,
  - d) lo hago directamente, sin tomar en cuenta otras consideraciones.

### 2.3. *Contexto socio-cultural*

- 42) Cuando tengo que atender, recordar o pensar con eficacia:
- a) tomo en consideración el contexto sociocultural en que me encuentro,
  - b) trato de evitar los prejuicios y estereotipos que existen en mi ambiente,
  - c) pienso que el lograrlo solo depende de mí,



- d) sencillamente lo hago sin analizar las diferentes influencias que puedan existir.

### **3. Actividad**

#### *3.1. Tareas*

43) Cuando tengo que atender, recordar o pensar:

- a) lo hago de forma diferente según la tarea que tengo que llevar a cabo,
- b) trato de precisar cuál es la tarea que se me pide,
- c) considero que depende de mí y no de la tarea,
- d) lo hago, sin darle más vueltas.

#### *3.2. Estrategias*

44) Al atender, recordar o pensar:

- a) busco alguna estrategia que ya antes me haya dado resultado,
- b) busco alguna estrategia nueva que sirva para hacerlo mejor,
- c) evalúo si es eficaz o no la estrategia que uso,
- d) lo hago sin pensar en estrategias ni cosas parecidas.

#### *3.3. Atención y esfuerzo*

45) Al llevar a cabo cualquier actividad mental:

- a) considero que su eficacia depende de la atención que le preste,
- b) considero que su eficacia depende del esfuerzo que realice,
- c) considero que su eficacia depende de la atención y esfuerzo que le dedique,
- d) simplemente la llevo a cabo sin analizar de qué depende.

En el Anexo 2 presentamos un modelo reducido de cuestionario para PSICO-A. Está basado en el CEMGM e incluye 10 cuestiones de elección múltiple que abordan los tres macrocomponentes del Modelo Global de la Metacognición.

## **2.5. JUICIOS DE CONFIANZA**

Los llamados juicios de confianza retrospectiva (JCR) atañen a cómo los sujetos evalúan la probabilidad de que sus respuestas sean correctas. Las repercusiones de este tipo de juicios para la vida diaria son relevantes. Pensemos, por ejemplo, en un testigo que, en su declaración ante el juez, afirme que está totalmente seguro de que el acusado cometió el crimen frente a otro que, simplemente, exprese su incertidumbre al respecto. El efecto logrado sobre el interlocutor, desde luego, nunca será el mismo. Los dos aspectos más estudiados respecto a los JCR son los factores que influyen en el grado de precisión de los mismos y el nivel de su calibración. Por nivel de calibración se entiende el grado de ajuste entre el rendimiento real del sujeto en una tarea y su juicio a priori acerca del mismo. Por ejemplo, si el sujeto afirma que cree que ha contestado correctamente al ochenta por ciento de una lista de preguntas y luego se corrobora que, en efecto, ha respondido adecuadamente a 8 de 10 cuestiones, el nivel de calibración ha sido perfecto o total. Lo habitual, sin embargo, es que los JCR se distorsionen hacia la sobreconfianza. La investigación acerca de este tipo de distorsiones tiene sus raíces en los estudios de Psicología de la Probabilidad de hace más de tres décadas. Lichtenstein, Fischhoff y Phillips (1982) estudiaron las curvas de calibración a partir de los juicios de los sujetos experimentales acerca de la corrección de sus respuestas dadas a preguntas de información general. Cuando los participantes señalaban el grado máximo (1) de confianza para sus respuestas, el nivel de ejecución correcta se situaba por debajo de 0,85. Sin embargo, cuando las cuestiones eran relativamente fáciles, disminuía dramáticamente el grado de confianza. Este tipo de distorsiones pueden juzgarse como sesgos cognitivos. La “heurística de anclaje y ajuste” sería, en opinión de Dunlosky y Metcalfe (2008, p. 132), una buena explicación de los sesgos existentes en los juicios de calibración de confianza retrospectiva efectuados por parte de los individuos. Tversky y Kahneman (1974) definieron aquella heurística como la propensión a juzgar la probabilidad de un evento a partir de un valor inicial a partir del cual se van ajustando los juicios subsiguientes. Parece razonable pensar que, al realizar juicios de confianza,

las personas empiecen con valores intermedios. Cuando encuentran un ítem fácil, el ajuste se produce hacia arriba mientras que lo contrario sucede al surgir un ítem difícil. En el lado optimista estarían aquellos que, como Gigerenzer (1991), afirman que los seres humanos son buenos estadísticos intuitivos y que la mayoría de las condiciones experimentales forzadas por los psicólogos son antiecológicas. Muchas veces se pide a los sujetos que juzguen la probabilidad de un solo evento, como cuando se les pregunta por la probabilidad de que Managua sea la capital de Guatemala. Quizá las personas seamos más sensibles para juzgar la frecuencia de los eventos que probabilidades aisladas.

El modelo de Dougherty (2001) busca aunar los enfoques anteriores creando un modelo híbrido. Según este tipo de modelo, la pobre calibración por parte de los sujetos puede deberse, en parte, a errores producidos al azar. Al combinar las presuposiciones más importantes de los modelos anteriores, no es de extrañar que su poder explicativo sea superior. En PSICO-A hemos diseñado una caja dedicada a medir el juicio de confianza de los estudiantes sobre su aprendizaje.

## **2.6. RECUPERACIÓN LIBRE DE LOS CONTENIDOS Y MEJORA DEL APRENDIZAJE**

Karpicke y Blunt (2011) han realizado dos experimentos en la Universidad de Purdue con un total de 200 alumnos de diferentes disciplinas científicas. En ellos han evidenciado-en un test de retención de la información a largo plazo-, que los alumnos que, nada más terminada su tarea de estudio de unos breves textos científicos, escribían libremente sus recuerdos durante unos minutos, mostraban un rendimiento superior (en un promedio de hasta un cincuenta por ciento) al de los estudiantes que simplemente construían un mapa conceptual de cada texto. La conclusión es que una actividad de recuperación activa de la información desde la memoria supera, como método de aprendizaje, al uso de técnicas de aprendizaje organizado que buscan elaborar y comprender la información, como sucede con el procedimiento de

los mapas conceptuales de Novak (2005). ¿Qué ocurriría si combinamos en un mismo sistema de enseñanza dos métodos tan potentes como el del aprendizaje retentivo y el del aprendizaje comprensivo? Pues como se apreciará en nuestro propio diseño experimental, que el rendimiento de nuestros alumnos mejorará ostensiblemente con respecto a la aplicación de la técnica tradicional de aprendizaje basada en la clase magistral. Por lo tanto, nuestro Sistema PSICO-A, utiliza hasta cuatro técnicas de refuerzo del aprendizaje, como son los Mapas Conceptuales, la Recuperación Libre y Activa de la Información, la Evaluación mediante “feedback” basada en preguntas (Modo de Reflexión) y un Modo de Juego o de Simulación, cuyas animaciones permiten al estudiante experimentar virtualmente con sus conocimientos. Además, el hecho de que el Mapa Conceptual se aplique en PSICO-A después de la actividad de Recuperación Libre, convierte a aquél en una tarea de tipo retentivo más que de tipo comprensivo, lo cual-según Karpicke y Blunt (2011)-, no hace más que mejorar el aprovechamiento académico por parte de los alumnos. Añadamos la existencia de la evaluación Metacognitiva y se comprenderá fácilmente que ahora mismo no exista en el mercado didáctico de la Psicología algo parecido dentro de la gama de sistemas de enseñanza por ordenador. Analicemos específicamente los experimentos de Karpicke y Blunt (2011) para ver qué podemos derivar de los mismos. En un primer experimento en el que participaron 80 estudiantes de la Universidad de Purdue, se les dió a leer un texto científico que constaba de 276 palabras y se diseñaron cuatro condiciones de aprendizaje, repartidos 20 alumnos en cada una de ellas. Todos los alumnos estudiaron durante 5 minutos el texto presentado. En una primera condición o condición de estudio, los sujetos simplemente estudiaban el texto. En una segunda condición de estudio repetido, los sujetos estudiaron el texto en cuatro periodos de 5 minutos cada uno, dejando un intervalo de un solo minuto entre cada periodo. En una tercera condición o de estudio comprensivo, los alumnos elaboraron un mapa conceptual del tema durante un tiempo de 25 minutos. Finalmente, en la condición de recuperación libre, los alumnos tenían que escribir lo que recordaban del texto en cualquier orden que estimasen. Dispusieron de un tiempo de 10 minutos para ello. Después los sujetos releían

el texto y volvían a escribir sus recuerdos durante otros 10 minutos. Al terminar la fase de aprendizaje, los alumnos predecían su grado porcentual de aprendizaje mediante el uso de una escala de 11 puntos, de manera similar a lo que nosotros hemos planteado para PSICO-A. Una semana después, los estudiantes rellenaban, durante 15 minutos, un test de 14 preguntas cortas y otras 2 preguntas breves de naturaleza inferencial. Los resultados pueden resumirse de la siguiente forma: el rendimiento de los alumnos en el test final fue significativamente superior en la condición de Recuperación Libre y Activa ( $M=0,67$ ) con respecto a la condición de estudio simple ( $M=0,27$ ), a la condición de estudio comprensivo mediante Mapas Conceptuales ( $M=0,45$ ) y a la condición de estudio repetido ( $M=0,49$ ). El tamaño del efecto diferencial entre la cuarta condición o de Recuperación Libre y la tercera o de uso de Mapas Conceptuales, fue de  $d=1,50$ . Respecto a los juicios de confianza, los porcentajes más elevados correspondieron a la condición de estudio repetido ( $M=0,79$ ) y los más bajos procedieron de la condición de recuperación libre ( $M=0,58$ ). A mitad de camino entre ambos, se situaron los juicios procedentes de la condición de estudio simple ( $0,68$ ) y de la condición de estudio organizado o comprensivo a través de Mapas Conceptuales ( $0,67$ ). Por lo tanto, el mayor escepticismo entre los alumnos fue generado por la condición de Recuperación Libre pero fue la que mejor aprendizaje procuró a largo plazo. En PSICO-A, como ya hemos indicado, el aprendizaje de Recuperación Libre queda archivado en el Bloc de Notas del alumno. Primero tiene lugar la recuperación o recuerdo durante un periodo de 10 minutos y después se accede al Mapa Conceptual, durante otros 10 minutos. En un segundo experimento, se dispuso de cuatro textos científicos, dos de ellos con una estructura secuencial (descripción de un proceso paso a paso), y los otros dos con una estructura descriptiva conceptual (descripción de propiedades de diferentes tejidos anatómicos). Todos los textos tenían más de 200 palabras y menos de 300. Cada sujeto (120 sujetos en total) estudió dos textos. De uno de los textos, los alumnos diseñaban un mapa conceptual y del otro practicaron la recuperación libre de conceptos. La mitad de los individuos estudió los textos de estructura secuencial y la otra mitad estudió los dos textos de tipo

descriptivo. En el test final, la mitad de los alumnos respondió a un test de preguntas cortas, combinando preguntas de simple memorización y cuestiones de tipo inferencial, y la otra mitad diseñó un mapa conceptual de lo estudiado. Las condiciones de estudio fueron las mismas que en el primer experimento, con unas mínimas variaciones en los tiempos concedidos de respuesta. En el test final, la condición de Recuperación Libre mejoró a la condición de aprendizaje basada en Mapas Conceptuales, tanto en los textos descriptivos ( $M=0,77$  frente a  $M=0,59$ ) como en los de tipo secuencial ( $M=0,69$  frente a  $M=0,48$ ). El efecto tamaño, considerando ambos formatos, fue de  $d=1,07$ . Cuando el test final consistió en el diseño de un mapa conceptual, el rendimiento comparativo fue también superior a favor del aprendizaje de tipo retentivo ( $M=0,48$  vs.  $M=0,28$ , en textos descriptivos y  $M=0,40$  vs.  $M=0,28$ , en textos secuenciales). El efecto tamaño, teniendo en cuenta las dos clases de formato textual, fue de  $d=1,01$ . El efecto del aprendizaje, centrado en Mapas Conceptuales, también fue sobreestimado en los juicios de aprendizaje (en textos enumerativos,  $M=0,54$  frente a  $M=0,47$  y en textos descriptivos,  $M=0,55$  frente a  $M=0,48$ ).

## **CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE APRENDIZAJE BASADOS EN AGENTES (SABAs)**

## **1. UNA INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES (STIs)**

Como ya hemos indicado en la página 11 de este trabajo doctoral, la denominación “Sistema Tutor Inteligente” arranca de los años ochenta del siglo pasado, a raíz de un artículo de Sleeman y Brown (1982). La clara intención de los autores era la de dar a entender el inicio de una nueva era en los sistemas computacionales que, hasta entonces, se habían aplicado a la enseñanza. Por fin, podía hablarse del diseño de sistemas que no solo empezaban a considerar al alumno como un agente activo de aprendizaje sino que, propiamente, usaban técnicas directamente importadas de una Inteligencia Artificial emergente. Se buscaba simular el comportamiento de un tutor humano y, por lo tanto, adaptable a la cognición del estudiante. Precisamente, un Módulo Tutor es el encargado de crear las interacciones entre el estudiante y el experto, basadas en las discrepancias existentes entre el rendimiento real del alumno y su mejora cognitiva a través del estudio. La estructura habitual de esta clase de sistemas consta, a su vez, de un Módulo Experto que define el dominio del conocimiento, de un Módulo para el Estudiante (que busca determinar el conocimiento del estudiante en cada momento de la sesión de estudio) y de una interfaz fundamentada en los principios de la interacción entre computadores y humanos o HCI. Analicemos más detenidamente cada uno de estos componentes. El Módulo Tutor viene configurado por las estrategias instruccionales, entre las cuales caben destacar la dialógica o socrática, la de entrenamiento o “coaching” y la muy reciente estrategia basada en el uso de hipertextos. La estrategia dialógica busca que el alumno alcance sus propias conclusiones mediante un proceso de preguntas y respuestas. La estrategia centrada en el “coaching” transmite los conceptos mediante juegos y actividades de entretenimiento, mientras que en la última de las estrategias mencionadas, el alumno navega por una estructura de hipertextos y va explorando los contenidos a partir de sus propios intereses.

El Módulo Experto contiene el material educativo y representa este conocimiento mediante muy diversos procedimientos, desde redes semánticas



a programación orientada a objetos. Se trata de un banco de datos organizado en forma de conocimientos declarativos y procedimentales. Es evidente que el Módulo Experto ha de estar ligado al modelo del alumno y que, en consecuencia, es preciso que se ajuste a la mecánica humana de resolución de problemas. Por ello, se busca el diseño de módulos expertos que incorporen un conocimiento reflexivo de los hechos. El Módulo para el Estudiante es quizá la nota más distintiva de los STIs respecto a sistemas anteriores de aprendizaje. Dicho módulo pretende representar el conocimiento y las habilidades cognitivas de los alumnos en un momento dado. En realidad, se trata de un módulo que ha de reflejar el dinamismo exigido por el proceso continuo de aprendizaje del estudiante, puesto que el sistema ha de inferir enseguida la mejor estrategia que vaya remediando los déficits observados. Para ello, se puede recurrir al uso de técnicas muy variadas: desde guiarse por un análisis de preferencias cognitivas del alumno hasta diseñar un sistema de reconocimiento de patrones relativos al historial de respuestas producidas.

La interfaz no solo ha de permitir monitorizar el progreso del estudiante, recibiendo sus respuestas, sino que ha de presentar el material educativo de tal forma que la interacción con el alumno sea constante. Debe existir participación real del alumno y la forma de presentar el material no ha de inducir al aburrimiento o provocar una sensación de dificultad extrema. Evidentemente, el tiempo de respuesta debe ser breve y el alumno no puede ser sobrecargado con una exigencia excesiva (interminables cuestionarios, etc.) El uso de recursos “multimedia”, como material gráfico, vídeos, animaciones, etc., está a la orden del día. Para evitar la superposición entre módulos hay que definir muy precisamente las diversas interfaces. El ideal sería obtener módulos intercambiables e independientes del dominio de la aplicación. El Módulo del Estudiante de PSICO-A no es, en verdad, inteligente, puesto que se limita a recoger la evaluación cuantitativa del rendimiento del alumno en las diferentes tareas. El agente reflexivo consistirá de un Modo de Reflexión que aportará el necesario “feedback” al alumno y estará conectado al área de Evaluación. Ese agente da paso al Modo de Simulación y al Modo de Juego, los cuales apelan a la representación mental (Black, 2007) que el alumno haya podido pergeñar

al estudiar el tema. A través de la simulación animada y del juego digital, los estudiantes pueden analizar la ejecución de su agente. El Módulo Experto se conectará al Módulo del Estudiante y se interconectarán entre sí (procesos de “backend” y “frontend”). Es bien sabido que HTTP permite el intercambio de datos de forma asíncrona con el servidor Web. Tanto el “frontend” como el “backend” y su analizador de lenguaje natural, estarán diseñados a través del lenguaje PHP5, lenguaje ideal para este tipo de aplicaciones debido a su flexibilidad.

Los STIs no presentan una secuencia de enseñanza ya predeterminada por el instructor y diseñador del sistema y eso les permite adaptarse de verdad a las necesidades del alumno. De ahí que en el tradicional debate acerca de si la metodología de enseñanza ha de ser puramente instructiva o constructiva, los STIs se decanten por ofrecer un estilo de aprendizaje en el que el alumno asimile el nuevo conocimiento, esto es, una metodología constructivista. Por supuesto, la opción constructiva no excluye la necesidad de una presentación bien estructurada del material didáctico (enfoque instructivo) pero sí que han de evitarse diseños demasiado “ad hoc” y demasiado ajustados a determinados dominios, que encorsetan el aprendizaje. Papert (1980) introdujo el término “construccionismo” para referirse al proceso activo de construcción del conocimiento. Tomando ideas pertenecientes al modelo de Piaget (1929), que concibe al niño como constructor de sus propias estructuras intelectuales, Papert propone un estudiante que construya su propio aprendizaje, fijando incluso sus propios objetivos. El niño va construyendo su conocimiento de manera activa en sus tareas y absorbe el nuevo conocimiento, a través de un proceso que el psicólogo suizo denominó asimilación (Piaget, 1966). El hecho de que en PSICO-A, el alumno haga sus propuestas de conocimiento construyendo mapas conceptuales e interactúe con el Sistema, teniendo en cuenta sus propias acciones y estructuras cognitivas (capacidad conceptual y relacional, reflexión e interacción con los entornos animados de la simulación y del juego digital), le confiere una relevante orientación constructivista. Por otro lado, y en la línea abierta por White (1995) con su diseño del sistema THINKER TOOLS, se pretende que el alumno adopte siempre una actitud de aprendizaje

activo. En esta clase de aprendizaje, los estudiantes se implican en el desarrollo de tareas más que en el manejo pasivo de la información. A su vez, conviene recalcar la importancia de la Metacognición para el aprendizaje activo. Piaget (1976) ya quiso ver en el niño un “científico” que inventa y modifica teorías de forma consciente. Y Vygotsky (1932/1979) arguyó que la interacción del niño con el maestro le ayuda a regular internamente su propia cognición. Aunque los aspectos metacognitivos intentan ser tenidos en cuenta por bastantes STIs, el Sistema Tutor que más seriamente ha afrontado hasta ahora la presencia de la faceta metacognitiva en el aprendizaje del alumno, es el ya reseñado “MetaTutor” de Azevedo et al. (2009a). Nosotros simplemente introducimos en PSICO-A una ventana metacognitiva que calibra la capacidad del estudiante al responder a una serie de 10 ítems seleccionados del CEMGM de Mayor, Suengas y González Marqués, y añadimos una caja de evaluación de los Juicios metacognitivos de confianza de los estudiantes. En la próxima subsección analizaremos con detalle aquellos STIs que incorporan la Metacognición de una manera más compleja y que, como MetaTutor o Help Tutor, son junto a Betty’s Brain, REAL y ALEKS (Falmagne, Albert, Doble, Eppstein y Hu, 2013), los sistemas computacionales de aprendizaje más avanzados a día de hoy. PSICO-A rescata algunos elementos de todos ellos y añade el ser un sistema para el fomento del aprendizaje de una materia dada de lado en los “currícula” habituales que inspiran los sistemas de enseñanza por ordenador: la Psicología.

Con el diseño de STIs se busca conseguir una enseñanza individualizada, al personalizarse el entorno de aprendizaje y al respetarse el propio ritmo de estudio del alumno. Naturalmente, están concebidos como herramientas de refuerzo y no como sustitutivos del docente humano, pero han de facilitar las suficientes ayudas cognitivas como para desplazar la visión tradicional de un tipo de estudiante pasivo y asimilador de conceptos, por un tipo de estudiante activo y capaz de poder aplicarlos flexiblemente a la realidad. En consecuencia, frente a los viejos sistemas pedagógicos computacionales, únicamente centrados en la detección de errores, a día de hoy de lo que se trata es de diseñar sistemas que activen en los alumnos estructuras previas de

conocimiento a las cuales poder añadir la nueva información. Los retos actuales en el diseño de STIs están centrados en el intento de ajuste del contenido temático al estilo de aprendizaje del alumno y en la superación de ciertos problemas que afectan a este tipo de sistemas, como la superposición funcional existente entre sus módulos o la no reusabilidad de los mismos. Por otro lado, habrá de determinarse el perfil cognitivo de los alumnos, agrupándolos según el propio uso de sus capacidades.

## **2. SISTEMAS TUTORES INTELIGENTES METACOGNITIVOS**

Sin duda, los STIs más avanzados en la actualidad son aquellos que buscan explotar las capacidades metacognitivas de los alumnos y así mejorar su aprendizaje. Nuestro sistema PSICO-A solo incorpora un Área de juicios metacognitivos y una caja de Juicios de confianza para evaluar la Metacognición en los alumnos, pero otros sistemas son más flexibles y adaptables a las posibilidades de los alumnos. Cronológicamente, el primero de ellos, propiamente hablando<sup>20</sup>, es el ASISTENTE PARA LA REFLEXIÓN de Gama (2004), abriendo el paso a Tutores Metacognitivos como TUTOR DE AYUDA (“Help Tutor”) de Aleven et al. (2005) o METATUTOR de Azevedo et al. (2009a). En los próximos subapartados iremos describiendo la arquitectura y el propósito de todos estos sistemas, como antesala para la presentación de los dos principales sistemas basados en agentes (BETTY’S BRAIN y REAL) en los que se inspira nuestro propio diseño.

---

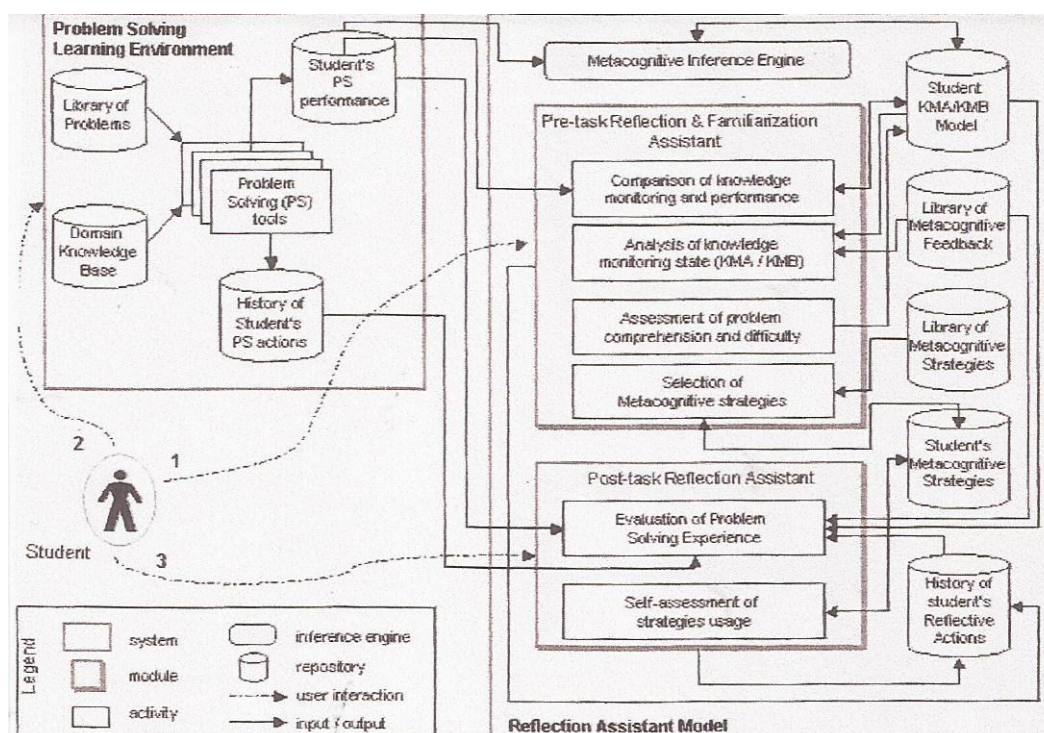
<sup>20</sup> En cierto sentido, MIST (Puntambekar, 1995) y SE-Coach (Conati y VanLehn, 2000) pueden considerarse precedentes, pero aunque ambos buscan que los alumnos reflexionen sobre sus propios conocimientos, en puridad no pueden considerarse diseñados con una sistemática y rigurosa intención metacognitiva.

## **2.1. EL ASISTENTE PARA LA REFLEXIÓN**

El “Asistente para la Reflexión” (*Reflection Assistant* y, a partir de lo que sigue, RA) de Gama (2004), encuentra su basamento teórico en el modelo metacognitivo de Tobias y Everson (2002)-véase las pp. 34 y 35 de esta Tesis-. El modelo de estos autores entiende que la Metacognición se compone de conocimiento de la propia cognición, de la monitorización de los procesos cognitivos y de aprendizaje así como del control de aquellos procesos. Una adecuada autorregulación del aprendizaje ha de permitir diferenciar claramente entre lo aprendido y lo no aprendido, por lo que resultan básicos procesos como la monitorización de la comprensión, la planificación, la revisión y la petición de ayuda. Si el estudiante se hace consciente de las tareas y del conocimiento potencial que puede manejar, entonces aumenta la confianza en su propio aprendizaje. De ahí que Gama desarrolle un mecanismo que permita inferir los niveles de monitorización del conocimiento por parte del alumno, a través de dos escalas: la escala de precisión en la monitorización del conocimiento o escala KMA y la escala de sesgo en la monitorización del conocimiento o escala KMB. RA propone actividades al alumno que activan sus capacidades metacognitivas, en concreto, la autoevaluación de sus soluciones y la monitorización de su conocimiento. Y todo ello apoyado por gráficos que ayudan a la autorreflexión y, por lo tanto, al autocontrol y a la autoconciencia.

RA es diseñado para la resolución de problemas en entornos de aprendizaje. En la resolución de un problema, y según Gama (2004, p. 63), se distinguen tres estadios: (a) familiarización con el problema, (b) producción y (c) evaluación. La monitorización del conocimiento y la selección de estrategias metacognitivas son exploradas en el primer estadio. La fase de producción implica la mayor carga cognitiva, por lo que Gama opta por subdividirla en una etapa de reflexión previa y una fase de reflexión, una vez acabada la tarea. En cierto modo, éstas pueden concebirse como una extensión de los estadios (a) y (c). Así pues, RA propone actividades reflexivas antes y después de la resolución del problema y en la fase de familiarización, pero nunca durante las etapas de producción y evaluación.

La arquitectura de RA, tal y como es presentada por Gama (2004, p. 66), exhibe la conexión entre el Modelo de “asistencia para la reflexión”, el entorno de resolución de problemas y el usuario, de la siguiente manera:



**Figura 15** - Arquitectura de RA (Gama, 2004, p. 66).

RA se divide en dos módulos principales: (1) el Asistente para la Familiarización y la Reflexión previa a la tarea y (2) el Asistente para la Reflexión posterior a la tarea. Los estudiantes van realizando las actividades propuestas en los módulos y reciben un apoyo metacognitivo. El propósito del primer módulo es preparar al alumno para la resolución del problema, promoviendo su monitorización del conocimiento, su evaluación de la dificultad del problema y su comprensión del mismo, así como la conciencia de la existencia de estrategias metacognitivas útiles que le pueden ayudar. En la parte derecha de la figura 15 y dentro del Modelo de asistente reflexivo, figura la monitorización del conocimiento a través de las actividades de “Comparación de monitorización y ejecución del conocimiento” (KMA) y de “Análisis del estado de monitorización del conocimiento” (KMB). Ambas se refieren a la experiencia global del estudiante en la resolución de problemas. Las actividades denominadas como “Evaluación de la dificultad y comprensión del

problema” (“Assessment of problem comprehension and difficulty”) y “Selección de estrategias metacognitivas” se dan en el estadio de familiarización con el problema. El asistente para la reflexión posterior a la tarea contiene dos tareas conocidas como “Evaluación de la experiencia en la resolución de problemas” (“Evaluation of problem solving experience”) y “Autoevaluación del uso de estrategias” (“Self-assessment of strategies usage”). Gracias a estas actividades, y concluida la resolución del problema, el estudiante analiza sus estrategias y su manejo del tiempo. RA incluye un motor de inferencia para examinar el nivel metacognitivo de los alumnos. Desde el modelo del RA, tal algoritmo de inferencia se apoya en las dos medidas, KMA y KMB, ya mencionadas<sup>21</sup>. Además, RA incorpora como almacenes de datos, una biblioteca de retroalimentación metacognitiva (“library of metacognitive feedback”), una biblioteca de estrategias metacognitivas (“library of metacognitive strategies”), el modelo KMA/KMB del estudiante, las estrategias metacognitivas del alumno y la historia de las acciones reflexivas realizadas. La comunicación entre el Modelo del asistente reflexivo y el entorno de aprendizaje es lograda a través del almacén de ejecución de la resolución de problemas por parte del estudiante (“student’s problem solving performance”) y del almacén de historia de las acciones reflexivas seguidas por el estudiante (“history of student’s problem solving actions”).

---

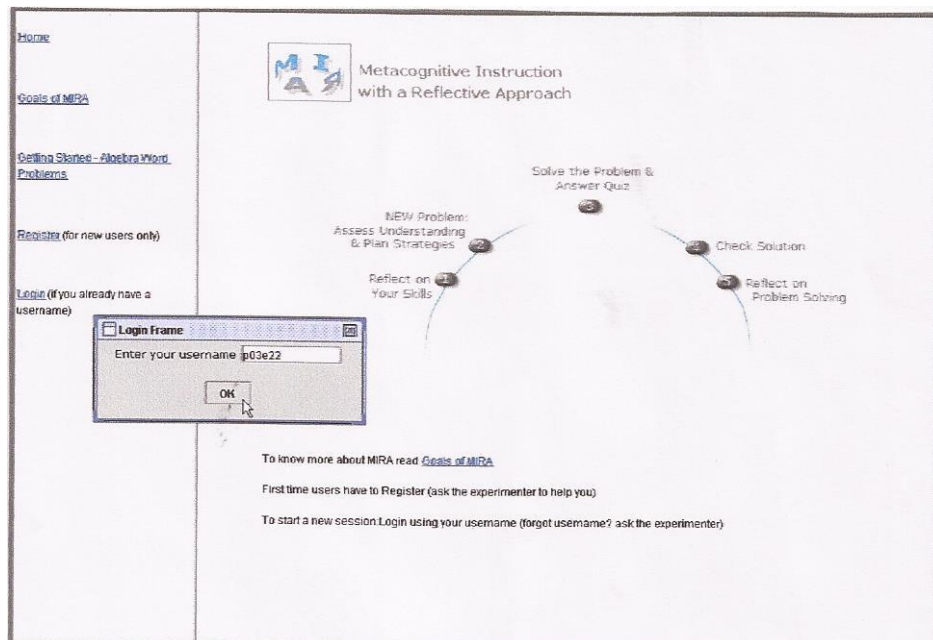
21 La medida de la Metacognición aportada por la KMA se basa en el instrumento de evaluación perfeñado por Tobias y Everson (2002). Se trata de ajustar las respuestas dadas por el alumno acerca de si es capaz de resolver un problema y su resolución del mismo. La escala para la KMA varía entre -1 y 1, donde -1 indica un muy bajo nivel de monitorización del conocimiento y 1 expresa el máximo nivel. Siendo *a* el número de veces que el estudiante predijo el éxito en su ejecución y realmente lo logró, *b* el número de ocasiones en que el estudiante predijo el fracaso y también acertó, *c* el número de veces que el alumno predijo el éxito y no acertó y *d* el número de veces en que se produjo coincidencia entre los fracasos predichos y los fracasos producidos, Tobias y Everson, en el artículo citado, establecen la siguiente fórmula de medición :  $(a+d)-(b+c) / (a+b+c+d)$ . Gama adapta esta medida y reinterpreta la fórmula como el promedio de valores individuales evaluados para cada ciclo de predicción/ejecución. La medida KMB pretende describir los sesgos en la capacidad para monitorizar el conocimiento por parte del estudiante. Sus valores dependen de los de la medida KMA pero poseen un significado diferente: un sesgo nulo en la monitorización viene marcado por el valor 0, el valor 1 se asigna a la estimación más optimista, mientras que el valor -1 corresponde a la estimación más pesimista; -0,5 se atribuye a la menor estimación pesimista y 0,5 a la menor estimación optimista.

Por lo que respecta a las estrategias metacognitivas, Gama (2004, p. 77) incluye tres grandes grupos de estrategias: (a) monitorización, (b) control de errores y (c) revisión. En la siguiente tabla especificamos dichas estrategias:

<b>Monitorización:</b> (a) lee el problema más de una vez; (b) determina qué partes no entiendes bien; (c) piensa en un problema relacionado y que ya hayas resuelto, y úsalo como modelo; (d) planifica los pasos para resolverlo.
<b>Control de errores:</b> (a) detente y revisa cada paso que hayas dado para ver si has cometido algún error; (b) relea el problema de cuando en cuando y examina si has olvidado algún aspecto importante; (c) detente y modifica tu estrategia si te encuentras perdido o confundido.
<b>Revisión:</b> (a) piensa en un modo de verificar si tu solución es correcta; (b) revisa todo lo que has hecho para asegurarte de que no has olvidado nada; (c) relea la descripción de la tarea.

**Tabla 3** - Lista de estrategias metacognitivas usadas en RA (Gama, 2004, p. 77).

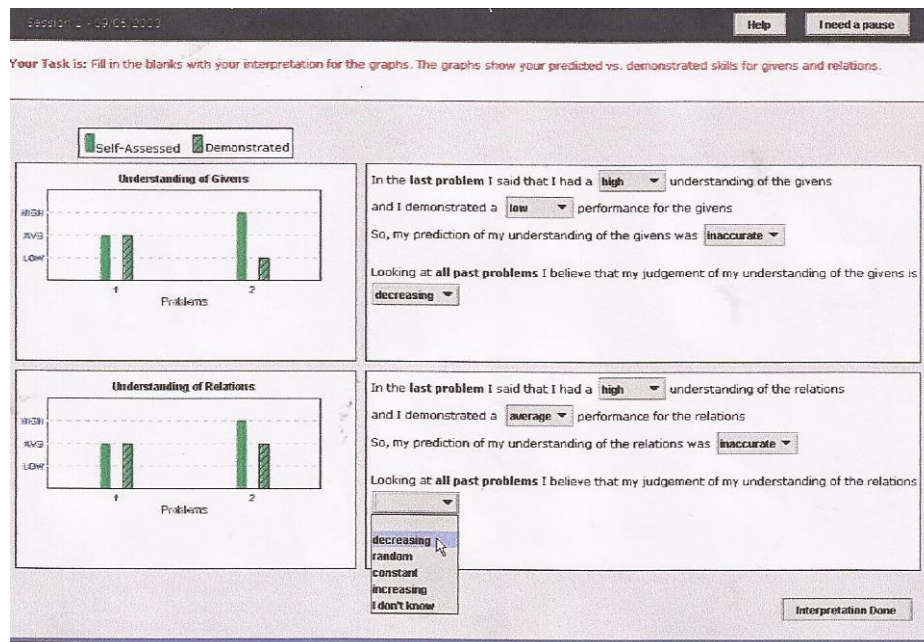
A partir de RA, Gama (2004) diseña un sistema de instrucción metacognitiva, llamado MIRA (“Metacognitive Instruction with a Reflective Approach”), para la resolución de problemas algebraicos y cuya pantalla principal es la que podemos observar a continuación:



**Figura 16** - Pantalla de inicio de MIRA (Gama, 2004, p. 102).

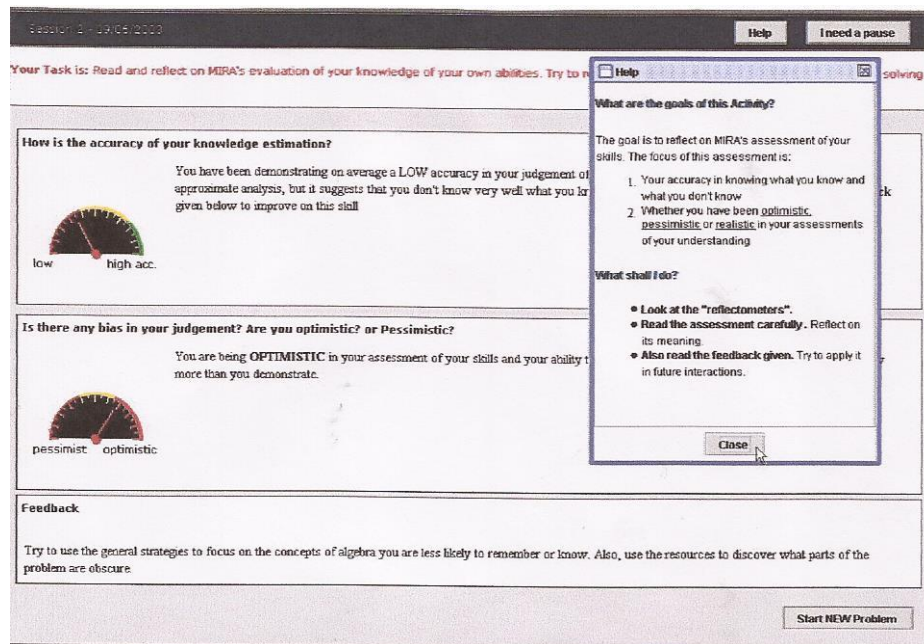


El estudiante reflexiona previamente sobre su ejecución de las actividades, completando las oraciones de la parte derecha de la ventana y observando los gráficos de la izquierda que comparan sus predicciones con su rendimiento real en las tareas, tal y como puede apreciarse en la siguiente figura:



**Figura 17** - Juicios de predicción y su adecuación en MIRA (Gama, 2004, p. 103).

En otra ventana, el estudiante puede observar las apreciaciones de MIRA acerca de su propio conocimiento (KMA) y sobre los sesgos de sus estimaciones (KMB), con el “feedback” correspondiente:



**Figura 18** - Análisis del estado de monitorización del conocimiento (KMA/KMB) por el estudiante en MIRA (Gama, 2004, p. 104).

A continuación, el estudiante lee un nuevo problema y realiza una evaluación inicial de su comprensión de algunos de los conceptos, así como de la dificultad percibida, tal y como aquí puede verse:

Session 2 - 09/05/2003

Help I need a pause

Your Task is: Assessing your knowledge and confidence to produce the algebraic equations for this problem. Read the problem and answer all the questions below.

**The Flowers**

In April, Jill planted 40 roses in her yard. Then in May, she decides she needed more flowers and she planted some tulips and some poppies. She planted twice as many tulips as she had planted roses and one forth as many poppies as tulips. How many flowers she planted all together?

Can you identify the givens of this problem?

☐ No, I cannot identify the givens

☐ I can identify at least some of the givens for sure

☒ I can identify all the givens of this problem

Can you identify the relations of this problem?

☐ I cannot identify the relations at all

☐ I identify only some relations

☒ I can identify all relations well

How difficult do you think it will be to solve this problem?

☐ very easy

☒ quite easy

☐ a bit difficult

☐ difficult

☐ very difficult

Do you think you can solve this problem?

☐ No

☐ Maybe

☒ Yes

Done

**Figura 19** - Ventana de evaluación inicial de la comprensión y dificultad del problema (Gama, 2004, p. 105).

El estudiante puede requerir examinar las estrategias metacognitivas más útiles para resolver el problema y añadir alguna propia, tal y como podemos captar en la figura 20:

Session 2 - 13/05/2004

Help I need a pause

**Your Task is:** Decide on strategies that can be helpful to apply when solving this problem. Choose at least ONE strategy in each list or add new strategies.

**The Flowers**

In April, Jill planted 40 roses in her yard. Then in May, she decides she needed more flowers and she planted some tulips and some poppies. She planted twice as many tulips as she had planted roses and one fourth as many poppies as tulips. How many flowers she planted all together?

Strategies for Monitoring Understanding Strategies for Controlling Errors Strategies for Revising

Select strategies by ticking the box Select it. You can also create your own strategies and tick the box to select them.

Strategy Description	Select it
Read the problem more than once	<input type="checkbox"/>
Read the problem to separate the important parts	<input checked="" type="checkbox"/>
Think of a related problem I have already done and use it as a model	<input type="checkbox"/>
Before starting to solve the problem, think what I am supposed to learn from it	<input type="checkbox"/>
Read the problem and determine which parts I don't understand well	<input checked="" type="checkbox"/>
Review the basic concepts that are not clear, before attacking the problem	<input type="checkbox"/>
Set a goal to myself and think about the steps to reach this goal	<input type="checkbox"/>

Done

**Figura 20** - Estrategias metacognitivas en MIRA (Gama, 2004, p. 106).

Para empezar a resolver el problema, el estudiante se encuentra con una pantalla en cuya parte superior izquierda hay una descripción del mismo y en cuya zona superior derecha existe una ventana para escribir la respuesta. Una serie de botones aportan los recursos adecuados para la resolución y un recordatorio de las estrategias metacognitivas seleccionadas:



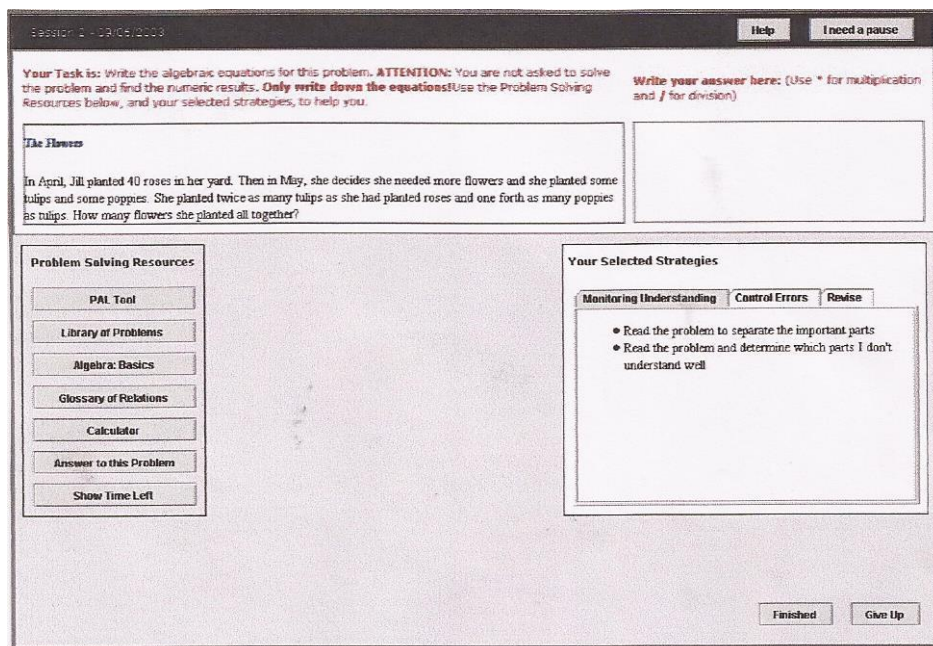


Figura 21 - Pantalla de MIRA para la resolución de problemas (Gama, 2004, p. 107).

El componente más destacado de la tabla de recursos es la herramienta PAL para la traducción de problemas lingüísticamente formulados a sus soluciones algebraicas. Esta herramienta ayuda al alumno a afrontar el problema en términos de metas, medios, variables y conexiones entre elementos, tal y como puede observarse a continuación:

Use keys CTRL+C to copy selected text and CTRL+V to paste it

**Goals of the problem** (write one per line)

Goal Description	Variable Name	Unit
total of flowers planted	$x$	flowers

**Unknowns identified** (write one per line)

Unknown Description	Variable Name	Unit
tulips	$t$	flowers
poppies	$p$	

**Givens of the problem** (write one per line)

Given Description	Numerical Value	Unit
roses planted	40	flowers

**Relations involving givens, goals, and unknowns** (write one per line)

Relation Description	Elements Related
She planted twice as many tulips as she had planted roses	$t$ , 40.0
She planted one forth as many poppies as tulips.	$p$

Figura 22 - Herramienta PAL de MIRA (Gama, 2004, p. 107).

El alumno escribe su respuesta empleando la caja de “Answer to this Problem” y seleccionando, de un conjunto de respuestas, la más cercana a la suya, lo que le obliga a reflexionar acerca de su propia solución. Además, el sistema le invita a introducir sus propias reflexiones. Así pues, podemos resumir la estructura del aprendizaje ofrecida por MIRA a los estudiantes, a partir de cinco estadios: (a) reflexión previa sobre la tarea, a través del análisis de su estado de monitorización del conocimiento (KMA/KMB); (b) evaluación de las estrategias de comprensión y planificación, mediante la autoevaluación de la dificultad del problema y la selección de estrategias metacognitivas; (c) resolución del problema y verificación de la solución; (d) examen de la solución dada por el tutor y (e) reflexión sobre la experiencia vivida al resolver el problema.

Para verificar la efectividad de MIRA, Gama (2004, p. 127 y ss.) diseña un experimento que asocia una condición diferente a dos grupos de sujetos. En el grupo experimental, los estudiantes interactúan con MIRA para formular problemas en términos algebraicos y participan de actividades reflexivas. En el grupo control, los sujetos interactúan con MIRA para la resolución de problemas pero sin participar de tales actividades reflexivas. Las hipótesis a verificar eran las siguientes: (1) mejor monitorización del conocimiento entre los estudiantes del grupo experimental respecto a aquellos del grupo control; (2) mejor adecuación al tiempo previsto para la tarea entre los estudiantes del grupo experimental que entre aquellos del grupo control; (3) mejor rendimiento global en la resolución de problemas por parte de los sujetos del grupo experimental que aquellos del grupo control; (4) menos problemas abandonados entre los individuos del grupo experimental que entre los individuos del grupo control. Para 13 estudiantes de primer año de Psicología o de Geografía formando parte del grupo experimental y 12 del grupo control, Gama (2004, p. 141) observa que el grupo experimental responde correctamente al 41,96% de las preguntas mientras que el grupo control solo responde de manera correcta al 26,47% de las cuestiones. Por lo que respecta a la perseverancia en la resolución de problemas, el grupo control abandonó un

porcentaje ligeramente superior (19,12%) de tareas que el grupo experimental (14,29%), siendo, sin embargo, una diferencia no estadísticamente significativa.

Dado un tiempo de 15 minutos para todos los alumnos, más del 60% de los estudiantes del grupo experimental resolvió todos los problemas frente a solo el 8,3% de los estudiantes pertenecientes al grupo control. En consecuencia, los primeros supieron manejar mejor el tiempo.

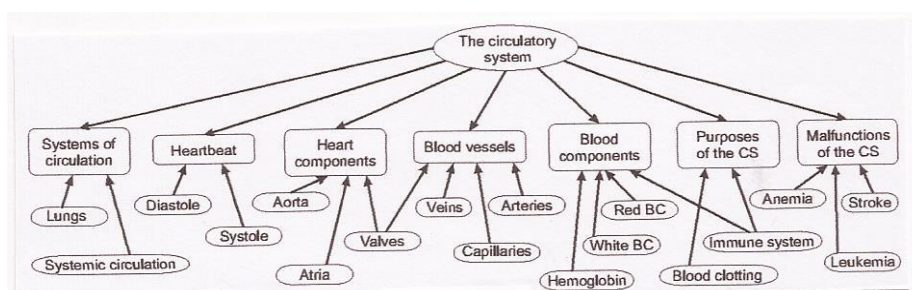
Quizá la hipótesis más interesante a demostrar fue que el grupo que pudo acceder a la realización de actividades de tipo reflexivo, adquirió una superior monitorización del conocimiento. Para ello, Gama (2004, p. 143) examinó la información extraída de las medidas de KMA en las condiciones de pre-test y de post-test, evidenciándose un incremento en los promedios de monitorización del conocimiento en el grupo experimental frente al grupo control. No obstante, la diferencia no se mostró estadísticamente significativa.

## **2.2. METATUTOR**

“MetaTutor” (Azevedo et al., 2009a) es un entorno hipermedia de aprendizaje que está siendo desarrollado por Roger Azevedo y su equipo de la Universidad de Memphis. Busca fomentar el aprendizaje autorregulado (Zimmerman, 1990) a través del estudio del sistema circulatorio humano. La idea directriz que guía su diseño es que los estudiantes han de regular no solo sus procesos cognitivos sino también los metacognitivos y motivacionales, para rendir adecuadamente en el estudio. La arquitectura computacional del sistema incluye estos elementos fundamentales: (a) Módulo de Planificación previa, (b) Módulo de Planificación, (c) Modelo del Estudiante, (d) Módulo de Apoyo, (e) “Feedback”, (f) Módulo de Tutorización, (g) Interfaz multimodal que incluye agentes, (h) Evaluación e (i) la coordinación de la actividad de todos los componentes. Como sucede con PSICO-A, es fácil acomodar nuevos módulos sin necesidad de cambiar los módulos existentes y de rediseñar de nuevo el sistema.

El primer elemento o de planificación previa, recoge información demográfica acerca de los estudiantes y activa el conocimiento previo de los

mismos sobre el tema, pidiéndoles que lo resuman. Dicho Módulo se conecta con el Módulo de Evaluación para que éste evalúe las respuestas dadas por el alumno a un cuestionario. El Módulo de Planificación se encarga de generar submetas para alcanzar la meta fundamental, esto es, el aprendizaje del funcionamiento del sistema circulatorio humano. El sistema usa un conjunto de submetas ideales, generadas por expertos en la materia, para evaluar las submetas producidas por los estudiantes. Los autores seleccionan las siguientes submetas ideales con sus nodos correspondientes (Rus, Lintean y Azevedo, 2010, p. 2):



**Figura 23** - Taxonomía de temas en MetaTutor.

La taxonomía captura relaciones entre conceptos y ayuda a impulsar el mecanismo de “feedback”.

El Modelo del Estudiante maneja unas 100 variables relevantes para evaluar el nivel de dominio de la materia de estudio y los procesos de autorregulación. Las variables incluyen los resultados obtenidos en los diversos test así como resúmenes de los contenidos que escriben los estudiantes.

El Módulo de Apoyo introduce estrategias pedagógicas. Se fundamenta en una base de conocimiento y en el uso de reglas de producción. Todas las reglas son verificadas en intervalos de unos 30 segundos para observar si sus condiciones se cumplen.

El Módulo de “Feedback” supervisa el tipo y el tiempo de aplicación del “feedback” suministrado a través de la interfaz. Hace uso de la base de conocimiento, un segmentador en XML<sup>22</sup> y módulos de reglas de producción.

<sup>22</sup> XML (eXtensible Markup Language) es un lenguaje de marcas desarrollado para la Web que sirve para almacenar grandes cantidades de información.

El Módulo de Tutorización se apoya en editores XML y editores de texto para introducir cambios en varios elementos configurables de la base de conocimiento, mientras que el Módulo multimodal maneja la interfaz compleja entre MetaTutor y los estudiantes o el diseñador. Finalmente, un sistema central controla el funcionamiento de todo el sistema, asegurando la comunicación y la secuenciación de funcionamiento de todos los componentes. Este sistema se encarga de grabar las acciones realizadas por el usuario, con la finalidad de que se puedan promover análisis postexperimentales de sus decisiones tomadas. Dentro del sistema central hay también un módulo que se encarga de introducir varios agentes virtuales (por ejemplo, Mary-el agente de monitorización-, Pam-el agente planificador-, o Sam-el agente encargado del diseño de estrategias-), en consonancia con el desarrollo de Sistemas basados en agentes, tal y como sucede en BETTY'S BRAIN, en REAL y en PSICO-A<sup>23</sup>.

Analizando la pantalla principal de MetaTutor (Azevedo et al., 2009b), encontramos que la interfaz consiste de una caja en la que se refleja la meta principal, asociada a una caja de submetas, a partir de la cual, el estudiante puede generar varias submetas durante la sesión de aprendizaje. Un reloj, en la parte superior izquierda, marca el tiempo que queda para finalizar y debajo de la interfaz aparecen los temas y subtemas que conforman la Tabla de Contenidos. A su vez, en la parte central de la pantalla encontramos el contenido, incluyendo el texto y las correspondientes representaciones visuales y diagramáticas. Debajo hay una caja de diálogo que graba la historia de la interacción sostenida por el alumno con los diversos agentes y un área de juicios metacognitivos, los cuales han sido inspirados por el cuestionario de Schraw y Sperling (1994).

Algunos juicios de índole metacognitiva que se plantean al alumno, son los siguientes:

---

23 En nuestro caso aparecerá MOUSI como agente virtual, una ratita blanca de laboratorio que irá informando al alumno de las actividades a llevar a cabo. El diseño de la simulación y del juego digital en los que interviene MOUSI, seguirá un famoso experimento de Crespi (1942) que indujo a Hull a reformular su teoría de la motivación como reducción del impulso, y que tiene en cuenta diversos parámetros como la velocidad, la cantidad colocada de incentivo y también el número de ensayos realizados.

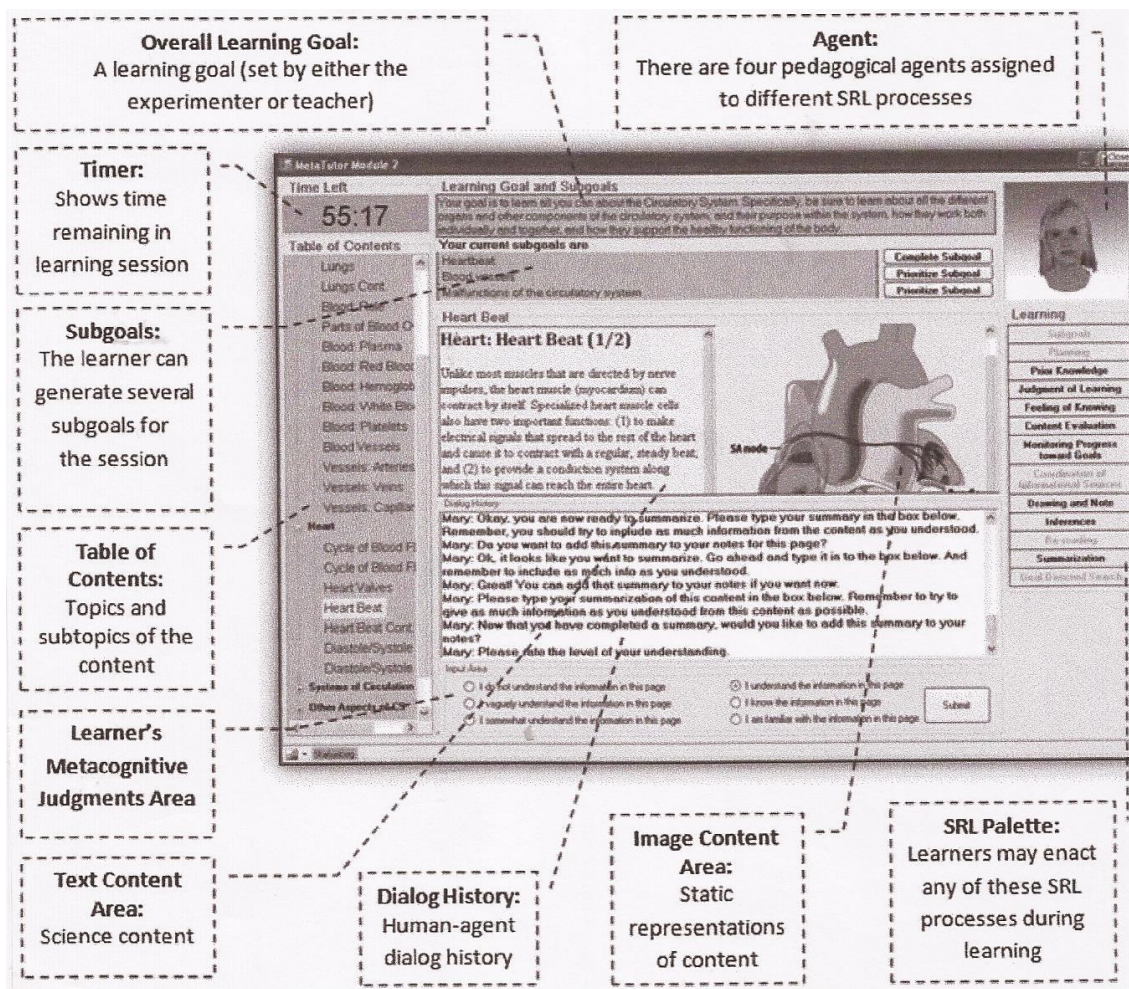


“No entiendo la información de esta página”/ “Entiendo vagamente la información de esta página”/ “Entiendo algo de la información de esta página”/ “Entiendo la información de esta página”/ “Conozco la información de esta página”/ “Estoy familiarizado con la información de esta página”<sup>24</sup>.

En la esquina superior derecha de la pantalla aparece uno de los agentes virtuales. Por ejemplo, si el alumno se está ocupando de algún proceso cognitivo, como rellenar el cuestionario que se acaba de mencionar arriba, surgirá el agente Mary, responsable de dialogar con el estudiante acerca de cuestiones de monitorización del conocimiento. Debajo de la representación del agente, se incluye una paleta de autorregulación del aprendizaje, introduciendo elementos de ayuda como hojas de notas o de resumen a ser usadas por el estudiante, o juicios metacognitivos como juicios de aprendizaje o juicios de confianza. Todo esto se puede observar mucho mejor en la siguiente figura tomada de Azevedo et al. (2009b, p. 219):

---

24 Como el lector puede observar en el Anexo 2 de esta Tesis, nosotros incluimos en PSICO-A, 10 ítems inspirados en el Cuestionario del Modelo Global de la Metacognición de Mayor et al. (1993).



**Figura 24** - Pantalla principal de MetaTutor (Azevedo et al., 2009b, p. 219).

Las asunciones cognitivas y pedagógicas que animan el diseño de MetaTutor arrancan de la teoría del procesamiento de la información en el aprendizaje autorregulado (Winne y Hadwin, 2008). Al aprendizaje autorregulado ya hemos hecho una muy breve alusión en la página 13 de este trabajo doctoral pero de la teoría de Winne y Hadwin hay que decir que propone dividir el fenómeno del aprendizaje académico humano en cuatro fases básicas: (a) definición de la tarea, (b) fijación y planificación de metas, (c) tácticas de estudio y (d) actividad metacognitiva. A diferencia de otros modelos, este modelo postula que en cada fase se dan una serie de mecanismos influidos por la información procesada. Cada fase es descrita en términos de la interacción de las Condiciones, Operaciones, Productos, Evaluaciones y Estándares de la persona (modelo COPES). El lector reparará en que el

parecido de este planteamiento con los elementos básicos de los tres niveles (representacional, procesual y funcional) del Modelo de la Mente de Mayor (1990), es obvio. Además, Winne y Hadwin, como Mayor con respecto a la mente, hablan de productos del aprendizaje. Si el resultado no se ajusta al estándar esperado, se inician nuevas operaciones tales como el destinar más tiempo al estudio. El resultado es un conjunto de procesos recursivos y sus productos, a la manera de la conceptualización de Mayor (véase la página 44 y siguientes de esta Tesis).

Azevedo et al. (2009b) consideran que es factible detectar, modelar y fortalecer los mecanismos de autorregulación durante el aprendizaje. Estos mecanismos son dinámicos y cíclicos. Durante el aprendizaje, los estudiantes van dejando huellas de su autorregulación en el manejo de los contenidos, sus atribuciones, creencias motivacionales, etc. Estas huellas son capturadas por los diálogos mantenidos por los sujetos con los agentes o por la frecuencia de uso de los elementos de la paleta SRL (véase la figura 24). Los datos cuantitativos y cualitativos son examinados empleando análisis estadístico y así es posible determinar su conducta autorreguladora durante el estudio y aprendizaje. Por ejemplo, Azevedo et al. (2009b) realizaron un experimento con 44 estudiantes que participaron en una sesión de 60 minutos usando MetaTutor. Entre las conclusiones del mismo, entresacadas de sus verbalizaciones formuladas en voz baja y grabadas, se comprobó que los procesos de monitorización (15,56%) tuvieron lugar con mucha menos frecuencia que las estrategias de aprendizaje (76,67%). En otro experimento (Azevedo et al., 2009b), 59 estudiantes de Secundaria fueron sometidos a una sesión con MetaTutor; fueron asignados al azar a una de dos condiciones (Control o Entrenamiento) y rellenaron un cuestionario de 13 ítems acerca de su conocimiento previo existente sobre el sistema circulatorio, así como un pre-test. En los dos días siguientes, los participantes en la condición de Entrenamiento fueron entrenados en la autorregulación de su conocimiento declarativo y procedimental, mientras que los participantes en la condición de Control recibieron una lección de hora y media sobre el sistema digestivo, sin ninguna apelación a la autorregulación de su aprendizaje. En el último día,

todos los sujetos participaron en una sesión de aprendizaje y expresaron protocolos de pensamiento formulados en voz baja. Después, los individuos rellenaron el mismo cuestionario ya recibido en la situación de pre-test.

Los resultados mostraron que los sujetos inmersos en la condición de Entrenamiento obtuvieron un rendimiento significativamente más alto en el cuestionario, después de haber sido sometidos al entrenamiento en procesos de autorregulación del aprendizaje. Por lo que concierne a los datos aportados por los protocolos verbales efectuados en voz baja, los alumnos de esta condición demostraron una mayor activación de su conocimiento a priori del tema, una mejor monitorización de su comprensión mediante el uso de juicios positivos de aprendizaje, una superior monitorización de su progreso hacia las metas de aprendizaje así como un uso de mayor número de estrategias de aprendizaje.

## **2.3. DOS SISTEMAS DE APRENDIZAJE BASADOS EN AGENTES**

### **2.3.1. BETTY'S BRAIN**

BETTY'S BRAIN es un entorno computacional basado en agentes que, diseñado por el "Teachable Agents Group" de la Universidad de Vanderbilt (Davis et al., 2003), se emplea para la enseñanza de las ciencias en estudiantes de Educación Primaria (11 años). La metodología de este Sistema se basa en la fértil idea de agentes virtuales a los que ha de enseñar el sujeto humano. BETTY'S BRAIN es un sistema computacional diseñado para que los estudiantes enseñen explícitamente contenidos a un agente virtual llamado Betty. Los estudiantes pueden observar los efectos de su enseñanza analizando las respuestas dadas por el propio agente, una vez que éste ha recibido la instrucción dada por el alumno humano. Un segundo agente aporta "feedback" adicional al sujeto.

Los estudiantes enseñan a Betty empleando la técnica de los mapas conceptuales (Novak, 1998), ya referida en la página 18 y siguientes de esta Tesis. Este mismo proceder lo aplicamos nosotros al diseño de PSICO-A.

El Sistema contiene un conjunto de recursos de información científica que ayudan a que los sujetos puedan construir sus mapas conceptuales<sup>25</sup>. Los estudiantes usan un templete (véase la figura 25) para preguntar a Betty y así verificar la efectividad de su enseñanza. Betty responde mediante cadenas de vínculos en un tipo de razonamiento causal. El agente mentor, Mr. Davis, elige un conjunto de cuestiones que el alumno traslada a Betty para que ésta responda. Si Betty se muestra incapaz de responder adecuadamente, los estudiantes pueden mejorar su conocimiento del tema y revisar su mapa conceptual, para así ayudar a Betty a resolver mejor las preguntas. Los agentes también van proporcionando “feedback” espontáneo a los alumnos, de tal modo que éstos puedan desarrollar mejores estrategias metacognitivas de aprendizaje.

En la pantalla principal, vemos en la parte superior izquierda el conjunto de herramientas que permiten al alumno elaborar su mapa conceptual. Debajo aparece la figura de Mr. Davis, el Tutor al que puede preguntar el estudiante. Debajo de Mr. Davis está representada la efigie de Betty, a la cual el sujeto puede dirigirse, preguntándola, pidiendo explicaciones o contemplando la efectividad de la misma resolviendo un cuestionario. En la parte central superior está la parte de la pantalla dedicada a la construcción del mapa conceptual y, en la zona inferior, están colocados los recursos que hacen referencia a los contenidos del tema y que figuran como la biblioteca y la guía de estudio de Mr. Davis. Todo esto puede apreciarse en la siguiente figura:

---

25 BETTY'S BRAIN ha sido dedicado, inicialmente, a la enseñanza del funcionamiento del ecosistema de los ríos.



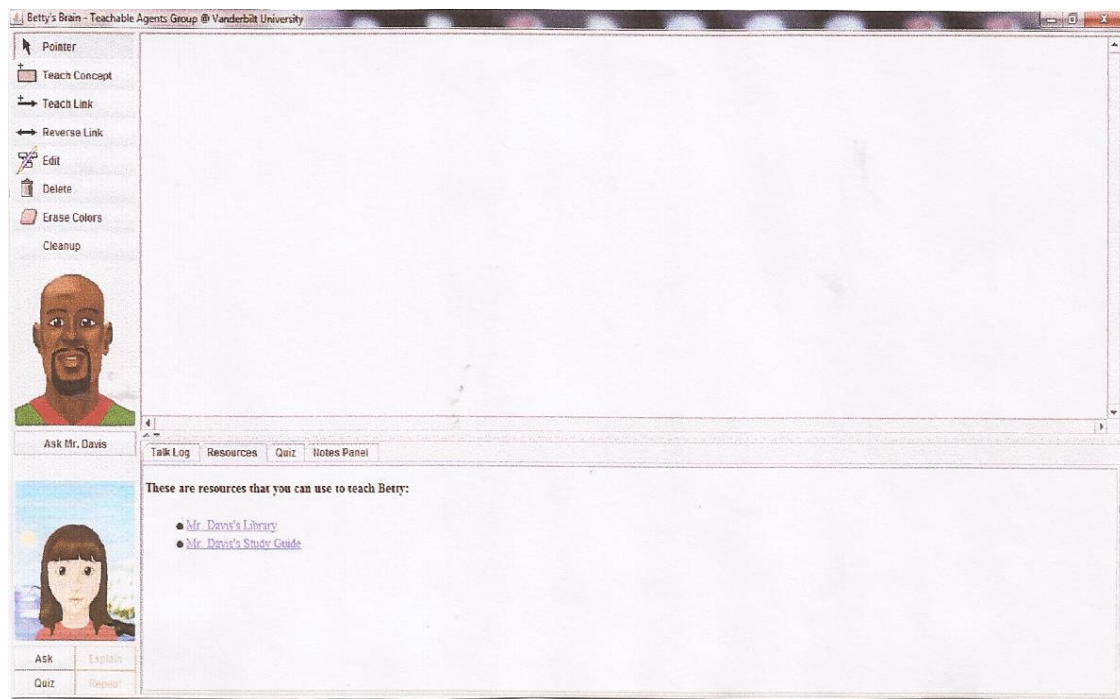


Figura 25 - Pantalla principal de BETTY'S BRAIN ([http://build.teachableagents.org/bettysbrain\\_release](http://build.teachableagents.org/bettysbrain_release)).

La distribución de los contenidos es como sigue:

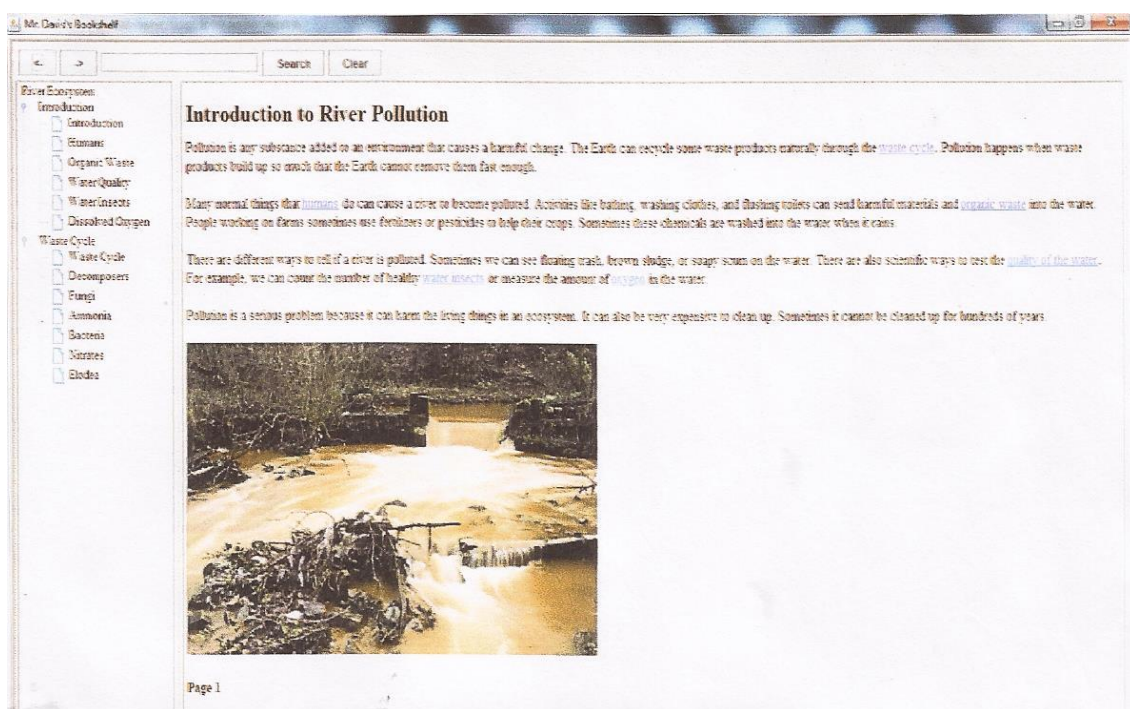
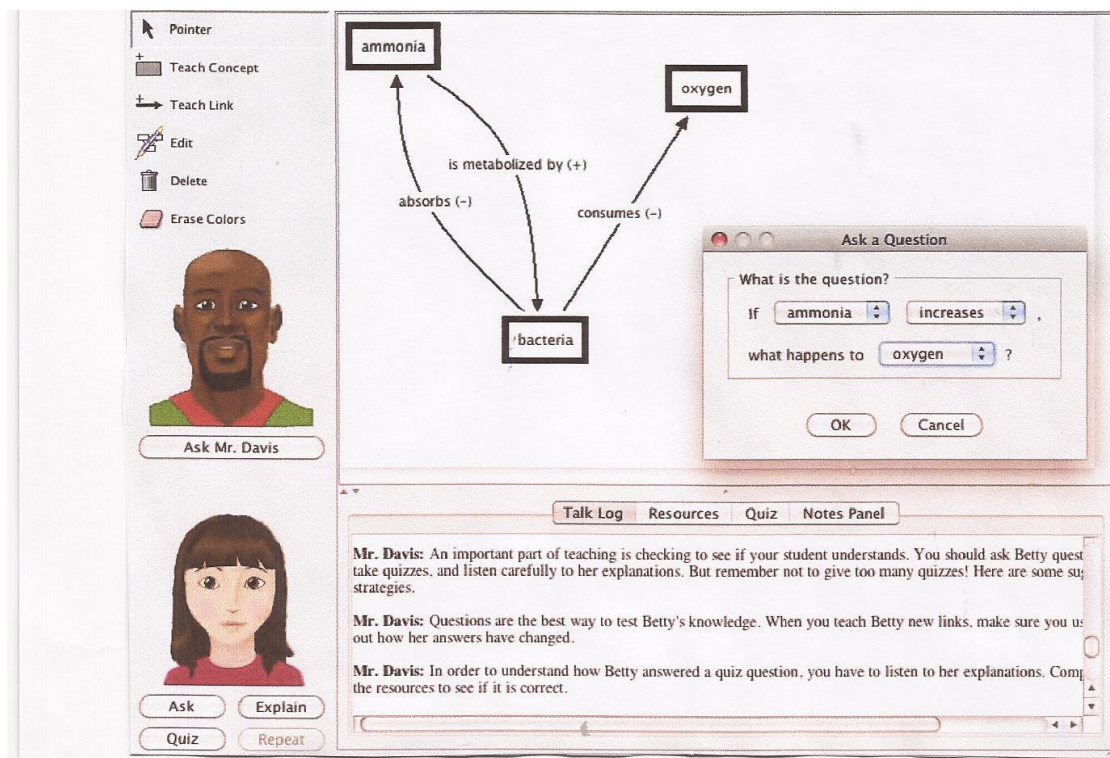


Figura 26 - Contenidos en BETTY'S BRAIN ([http://build.teachableagents.org/bettysbrain\\_release](http://build.teachableagents.org/bettysbrain_release)).

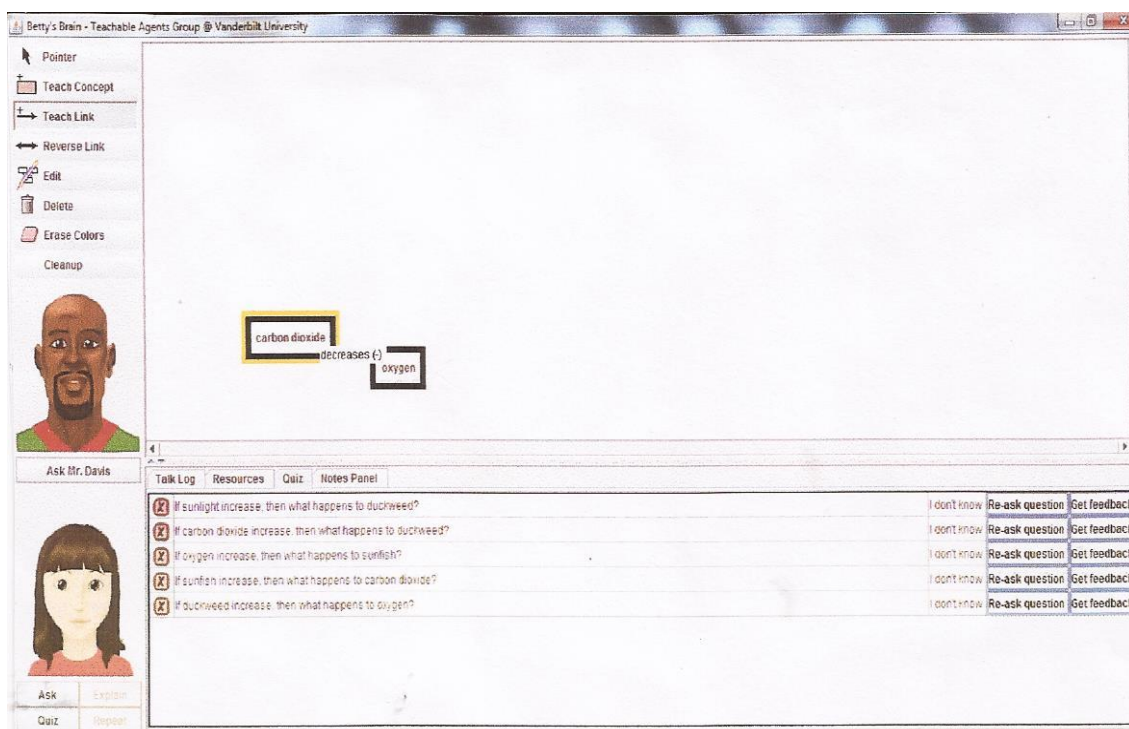
Los estudiantes enseñan a Betty a través de una interfaz que consiste en el diseño de un mapa conceptual. Éste consta de cajas etiquetadas que corresponden a conceptos y también de vínculos, representados como flechas, que encarnan tres tipos de relaciones: (a) causales, (b) jerárquicas y (c) descriptivas (Leelawong y Biswas, 2008). El primer tipo establece conexiones de causa-efecto entre conceptos, el segundo permite organizar los conceptos como clases inclusivas, mientras que el tercero expresa características de dichos conceptos. Como ya se ha indicado, PSICO-A usa los mapas conceptuales como un recurso pedagógico básico y toma de BETTY'S BRAIN la idea de conectar los conceptos mediante estos tipos de vínculos. Mientras elaboran el mapa conceptual, los sujetos pueden preguntar sus dudas a Mr. Davis y recibir sus recomendaciones, a través de una caja de diálogo, tal y como se refleja a continuación:



**Figura 27** - Diseño del mapa conceptual en BETTY'S BRAIN (Kinnebrew, Biswas y Sulcer, 2010,p.7).

Los estudiantes también pueden preguntar a Betty usando el botón “Ask”. El agente explica cómo obtiene sus respuestas mediante texto, animación y habla. De esta forma, se motiva a los alumnos para que aumente su interacción social con el sistema. El modo de interrogación a Betty consta de dos mecanismos: (a) un mecanismo de razonamiento y (b) un mecanismo de explicación. El primero permite a Betty analizar el conocimiento que el estudiante le ha enseñado para responder a las preguntas. Como ha podido observarse en la figura 27, el Sistema aporta plantillas a los alumnos con la finalidad de que puedan preguntar a Betty. Por ejemplo, “¿qué le sucede al oxígeno si aumenta el amoníaco?”. El mecanismo de razonamiento es derivado mediante una simplificación de la Teoría de Procesos Cualitativos de Forbus (1984). Consiste en un simple proceso de encadenamiento que permite deducir la relación existente entre un conjunto de conceptos conectados. Y así, dado un concepto A, el efecto de su cambio es propagado a través de todos sus vínculos causales. Si el número de vínculos causales de entrada es mayor que uno, la propagación hacia delante se produce solo si todos los vínculos de entrada han sido resueltos. Combinando los cambios correspondientes, se computa el efecto global. El mecanismo de explicación capacita a Betty para generar especificaciones detalladas de cómo produce sus respuestas. En la siguiente figura puede apreciarse la caja de diálogo en la que Betty va analizando sus propias explicaciones, ante una determinada relación conceptual (en este caso, la influencia en el oxígeno de la disminución del dióxido de carbono):





**Figura 28** - Pantalla de BETTY'S BRAIN con las explicaciones de Betty ([http://build.teachableagents.org/bettysbrain\\_release](http://build.teachableagents.org/bettysbrain_release)).

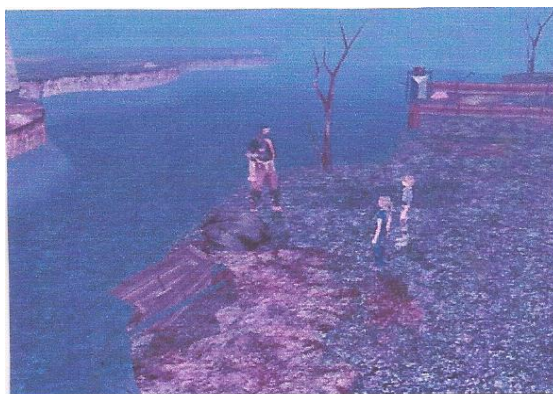
Betty es capaz de responder a un cuestionario. Mr. Davis informa a Betty y al estudiante acerca de si las respuestas han sido correctas o no. El agente mentor va introduciendo pistas con la finalidad de ayudar al alumno a desarrollar adecuadamente el mapa conceptual. Puede recomendar al estudiante que repase el material estudiado, puede mencionar explícitamente el concepto o la relación omitidos y, finalmente, puede corregir directamente una relación causal o un concepto introducido. Este Sistema, pues, proporciona un tipo de “feedback” correctivo. Biswas et al. (2005) realizaron un experimento con 39 estudiantes de quinto grado (11 años) que siguieron una sesión de aprendizaje del ecosistema de los ríos usando BETTY'S BRAIN. Diez semanas después, los alumnos tuvieron que responder a un test de transferencia sobre el ciclo del nitrógeno. El grupo que recibió el “feedback” orientado a los contenidos y pistas que suscitaron la aplicación de estrategias metacognitivas, fue el que obtuvo un mejor rendimiento global, medido en promedio de respuestas acertadas y utilización válida de conceptos y relaciones. En otro estudio experimental, Leelawong y Biswas (2008) examinaron los efectos de la interactividad entre las diferentes opciones de aprendizaje mediante

enseñanza, ofrecidas por el entorno computacional. Cincuenta estudiantes, también de quinto grado, tuvieron la oportunidad de instruir a Betty a través de cuatro versiones del Sistema: (a) una versión sin posibilidad de preguntar al agente y de resolver los cuestionarios; (b) una versión con capacidad para preguntar a Betty; (c) una versión con cuestionarios a resolver y (d) la versión completa. Los estudiantes que emplearon la versión (c) y la (d) realizaron unos mapas conceptuales con mayor proporción de vínculos causales. Además, los sujetos que usaron la versión (b), añadieron un número significativamente mayor de relaciones correctas en sus mapas conceptuales que los que usaron la versión (a). Aquellos que utilizaron las versiones (c) y (d) obtuvieron unos mejores resultados globales.

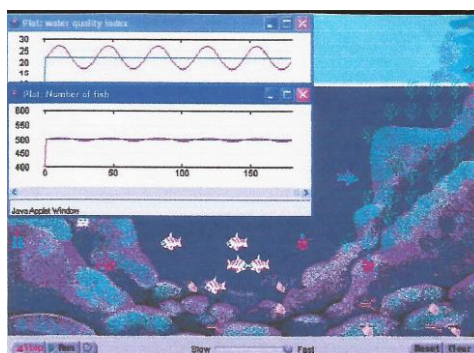
En Tan, Beers, Gupta y Biswas (2005), fue introducida la simulación del ecosistema de un río. La simulación hacía uso de una animación que mostraba las relaciones dinámicas existentes entre diversas entidades del ecosistema. Betty y el estudiante acompañan a un cuidador del río y el cuidador sugiere problemas a resolver y proporciona ayuda para solucionar los mismos. Betty usa su mapa conceptual. El alumno y Betty viajan hasta la localización del problema y Betty busca la solución correcta. El sujeto interactúa con el Sistema usando el ratón y el teclado del ordenador para controlar los movimientos de su propio avatar y de Betty, así como para buscar información. Un controlador es el componente central para la ejecución del juego. El controlador mantiene el estado del juego y determina los aspectos del mundo accesibles al jugador. Todos los caracteres virtuales del juego tienen un agente correspondiente dentro del controlador. Hay un generador de patrones que monitoriza el entorno y que inicia la toma de decisiones cuando los patrones observables tienen lugar. El controlador maneja la nueva información resultante de las acciones de los agentes, a través de una base de datos “nwnx” del lenguaje de programación Java, vinculada al Módulo del Juego. El Evaluador es la parte del controlador que examina el rendimiento del estudiante y que ajusta el juego según convenga. Dicho Evaluador analiza los resultados de la simulación así como las acciones pasadas del estudiante para determinar la progresión del juego. Además, tiene en cuenta los aspectos del problema que el estudiante ha

completado y envía esta información al Módulo de toma de decisiones, el cual está asociado al agente mentor y usa dicha información para determinar el nivel de ayuda que ha de recibir el alumno.

A continuación podemos observar la pantalla de entrada al Modo de Juego y la interfaz del sistema de simulación:



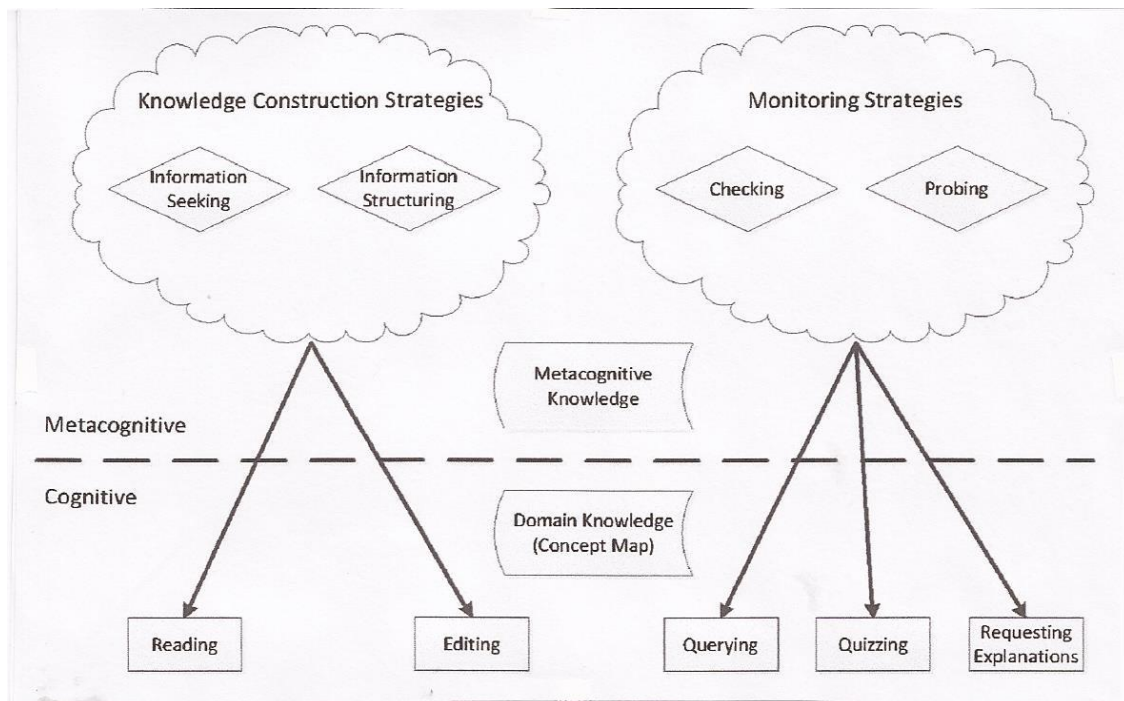
**Figura 29** - Pantalla de entrada al Modo de Juego (Tan et al., 2005, p. 649 ).



**Figura 30** - Interfaz del sistema de simulación (Gupta, Wu y Biswas, 2005, p. 244).

El modelo cognitivo y metacognitivo que inspira el diseño de BETTY'S BRAIN identifica, por lo que se refiere a la construcción del conocimiento, dos tipos de estrategias autorreguladoras (Kinnebrew et al., 2010): (a) búsqueda de la información (los estudiantes hacen uso de los recursos disponibles para aumentar su conocimiento) y (b) estructuración de la información mediante las relaciones causales y taxonómicas puestas de manifiesto en la elaboración de mapas conceptuales. Por otro lado, el modelo recurre a dos estrategias de monitorización: (a) verificación mediante preguntas y resolución de cuestionarios y (b) análisis detallado de los mapas conceptuales.

El agente Betty, en sus respuestas, ayuda al alumno a incorporar aspectos metacognitivos y Mr. Davis sugiere patrones conductuales vinculados a estrategias autorreguladoras efectivas. Por ejemplo, he aquí una respuesta de Mr. Davis por lo que respecta a la búsqueda de información en la fase de construcción del conocimiento: “Reading is a very important part of learning. You should use the resources often to help you understand and double-check what you are teaching. Here are some strategies that you can use to improve your reading skills” (Kinnebrew et al., 2010). En la siguiente figura puede contemplarse el modelo de estrategias de aprendizaje autorregulado y de actividades vinculadas a estas estrategias:

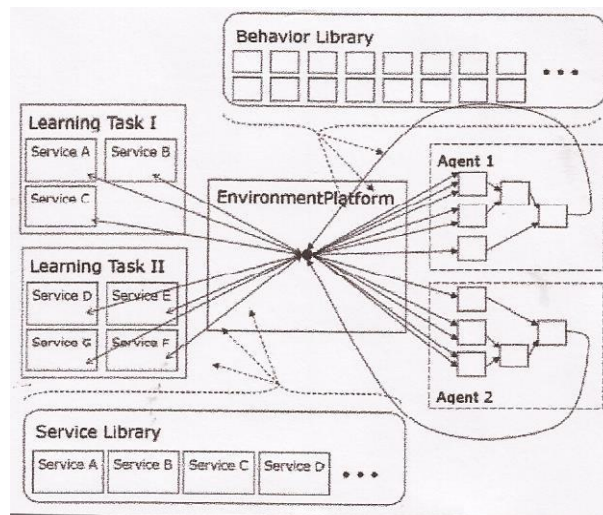


**Figura 31** - Modelo de aprendizaje autorregulado en BETTY'S BRAIN (Kinnebrew et al., 2010, p. 8).

La arquitectura de BETTY'S BRAIN está fundamentada en agentes (SABA) que se comunican entre sí mediante la plataforma de un entorno de aprendizaje. El estudiante, representado también como un agente, interactúa con los otros agentes y aprende enseñando (AME). La plataforma del entorno contiene la interfaz del Sistema y ejecuta todas las operaciones manipulando dicha interfaz (por ejemplo, introduciendo cambios en el mapa conceptual o mostrando los resultados de los cuestionarios). El diseño de los agentes adopta

una estructura jerárquica orientada a objetos. Son agentes pedagógicos animados que interactúan con el estudiante en las tareas de aprendizaje. Tales tareas se hacen corresponder a unidades que definen el contenido y el contexto y se construyen a partir de un conjunto de servicios modulares (Linn, Segedy, Jeong, Podgursky y Biswas, 2009). Algunos servicios sirven para analizar las actividades del estudiante y de los otros agentes. Los aspectos primordiales de un servicio son la ejecución de funciones y la distribución de información a los agentes. El conjunto de los servicios, como ocurre en las arquitecturas orientadas a servicios en Internet, se organiza en una biblioteca de servicios que incluye las interfaces entre las diferentes tareas.

La conducta de los agentes se define por su respuesta a los patrones derivados de los eventos asociados con los servicios y las acciones de los propios agentes. En el nivel más bajo, los eventos son generados por servicios dotados de un componente gráfico (botones, por ejemplo). La biblioteca de las conductas almacena las conductas ya establecidas de los agentes. Tales comportamientos se derivan a partir del conjunto de servicios y de los papeles asignados a los agentes en el entorno. Una serie de plantillas, desarrollados en lenguaje de programación XML, facilitan la configuración de las tareas. Un sistema basado en eventos permite que la información sea almacenada en el propio objeto de la comunicación. Hay tres tipos de eventos: eventos de servicios, eventos de agentes y eventos internos. Los eventos de servicios son generados por los elementos de la propia tarea de aprendizaje, informando acerca de las acciones del estudiante. Los eventos de agentes se producen en respuesta a los patrones de los eventos de servicios. Finalmente, los eventos internos extrapolan los patrones de bajo nivel a las conductas de nivel superior. Todo esto aparece reflejado en la siguiente figura:



**Figura 32** - Arquitectura computacional de BETTY'S BRAIN (Linn et al., 2009, p. 4).

Las reglas definen la conducta de los agentes y funcionan como identificadores de patrones que se configuran usando eventos. Cuando una regla es reclamada por la conducta pertinente, se inicia un proceso que lleva a la creación de un nuevo evento que produce una acción. Identificados los patrones de la conducta del estudiante, el diseñador puede escribir reglas que originen eventos internos, lo cual da cuenta de la flexibilidad de la arquitectura.

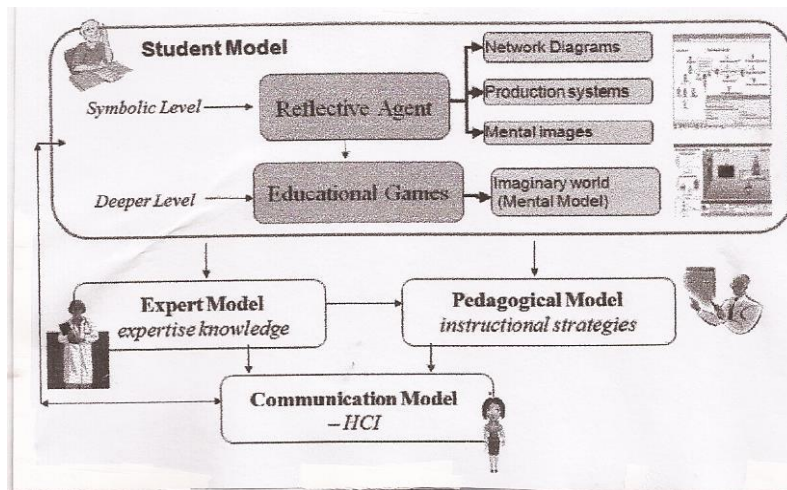
### **2.3.2. REAL**

“REflective Agent Learning environment” (REAL) es, junto con BETTY'S BRAIN, el Sistema Tutor Inteligente (STI) que más va a influir en el diseño de PSICO-A. Se trata de un entorno computacional claramente inmerso en el paradigma de los Sistemas basados en agentes. El propósito principal que subyace al proyecto de REAL es el de aumentar la capacidad reflexiva de los alumnos, mediante el aprendizaje basado en la enseñanza dirigida a un agente virtual que genera una secuencia de comportamientos análogos al uso de mundos imaginarios en los estudiantes (Black, 2007). Los agentes utilizan el conocimiento adquirido por los sujetos para alcanzar conductas inteligentes. De este enfoque metodológico ya se dio cumplida cuenta en la página 19 y siguientes de esta Tesis pero puede ser interesante que el lector refresque estas ideas a partir de la siguiente cita extraída de Black y Bower (1980):



In a story world (...) the subject can up-date and “see” dynamic changes of characters, objects, and locations in his storyworld : he has available for inspection not only the starting and ending state of a character’s motion but also intermediate points along the dynamic path (...) the reader’s storyworld model allows him to experiment with hypothetical changes in his imagination. So he can imagine what would have happened had circumstances been different in the storyworld (Black y Bower, 1980, p. 247).

Como en los STIs tradicionales, REAL se construye a partir de un Módulo de Conocimiento Experto, un Módulo de Estrategias para la instrucción, un Modelo del Estudiante y la interfaz entre el ordenador y los estudiantes. Los usuarios introducen sus pensamientos mediante un agente reflexivo, utilizando diagramas, sistemas de producción e imágenes en un Modo de Diseño. El Módulo de Conocimiento Experto contiene el conocimiento sobre un determinado dominio, aportado por los conocedores de la materia. Está conformado por redes de hechos y reglas procedimentales cuya estructura consta de cláusulas condicionales. El Módulo de Estrategias para la instrucción plantea qué problema generar, cuándo aportar “feedback” y cómo proporcionar el apoyo debido. La importancia del “feedback” y sus bases pedagógicas serán resaltadas en una sección posterior de esta Tesis. Puede constar de muchas variedades: respuestas positivas o negativas, informes estadísticos, juegos, etc. El Modelo del Estudiante almacena información específica acerca del nivel de competencia del propio estudiante. Posee conocimiento declarativo y procedimental, así como representaciones visuales del entorno. Finalmente, la interfaz contiene diversidad de herramientas, como metas de aprendizaje, orientaciones para la navegación, etc. Insertamos a continuación un esquema gráfico de la arquitectura de REAL:



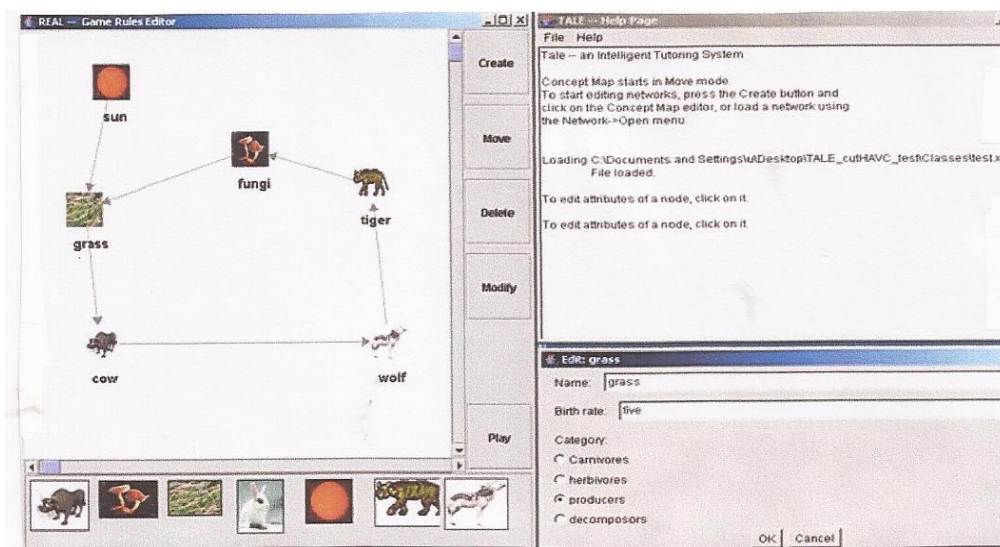
**Figura 33** - Arquitectura modular de REAL (Bai y Black, 2011, p. 52).

REAL ha sido aplicado en diferentes entornos, como *REAL Planet* (Bai y Black, 2004) y *REAL Business* (Bai, Black y Vitale, 2007b). Describiremos detenidamente cada una de estas aplicaciones pero antes subrayaremos sus aspectos comunes. Sus elementos básicos son un Modo de Diseño, un Modo de Juego y un Modo de Reflexión. En el Modo de Diseño, los estudiantes representan el conocimiento declarativo a través de entidades y relaciones entre esas entidades. A su vez, los alumnos definen reglas de producción que son la base de la conducta y el razonamiento de los agentes. Los estudiantes manejan diagramas de árboles, que son como mapas conceptuales que representan el conocimiento declarativo mediante eventos y la posibilidad de que estos eventos ocurran, dada la aparición, en el entorno del juego, de algún evento relacionado. El Modo de Juego es activado a partir del conocimiento mostrado por los alumnos e introducido en el Modo de Diseño. Los sujetos evalúan la efectividad de su enseñanza observando los resultados a los que dé lugar la simulación. El Modo de Reflexión permite que los estudiantes realicen conexiones significativas entre los datos informativos y las acciones que se producen en el entorno. Si el agente que encarna al estudiante comete errores en el Juego, las herramientas del Modo de Reflexión proporcionan pistas para mejorar el rendimiento del agente.

En *REAL Planet* (Bai y Black, 2004), los alumnos han de diseñar el sistema ecológico de un planeta con unas condiciones ambientales similares a



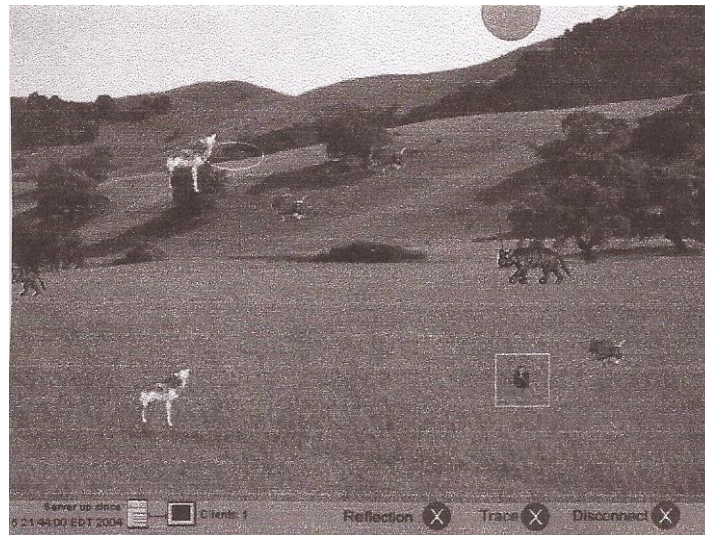
las de la Tierra. Los estudiantes construyen conexiones entre conceptos en el Modo de Diseño. Los nodos de las redes proposicionales representan entidades del mundo natural, tales como tigres, vacas, lobos, sol o hierba, entidades todas ellas representadas virtualmente como imágenes en la pantalla del Modo de Diseño. Los usuarios conectan las imágenes usando flechas y, al accionar sobre una entidad con el “ratón”, pueden modificar sus propiedades (edad, tamaño, nivel de energía, preferencias alimenticias). A su vez, pueden ir actualizando las relaciones, tales como el flujo de energía y otras. Podemos apreciar todo esto en la siguiente figura:



**Figura 34** - Pantalla del Modo de Diseño de *REAL Planet* (Bai et al., 2007b, p. 10).

Cuando el estudiante ha establecido las relaciones oportunas, puede comprobar la efectividad de su aprendizaje, accionando el Modo de Juego en la parte superior de la pantalla. Surge un juego de simulación en el que el usuario puede observar cuántos organismos aparecen al inicio del mismo. En la medida en que va pasando el tiempo, unos organismos depredan a otros en función de los flujos energéticos definidos por el propio sujeto. Un nivel de energía por debajo de cierto límite puede favorecer el que un agente busque alimentarse. Pero si el nivel es extremadamente bajo, también puede ocurrir que el agente decida no arriesgarse a conseguir comida. La meta es mantener un sistema ecológico equilibrado en el que el mayor número de entidades puedan coexistir. Si surge alguna situación inadecuada como que, por ejemplo,

los tigres tengan que alimentarse de hierba, el sistema interviene indicando que los tigres no desean comer hierba<sup>26</sup>. En la imagen, el lobo Yummy, marcado con un óvalo blanco, acaba de alimentarse con una vaca y el agente que representa al usuario o agente reflexivo (marcado mediante un cuadrado blanco), puede moverse por el entorno observando lo que va ocurriendo en el mismo:



**Figura 35** - Pantalla del Modo de Juego de *REAL Planet* (Bai y Black., 2011, p. 55).

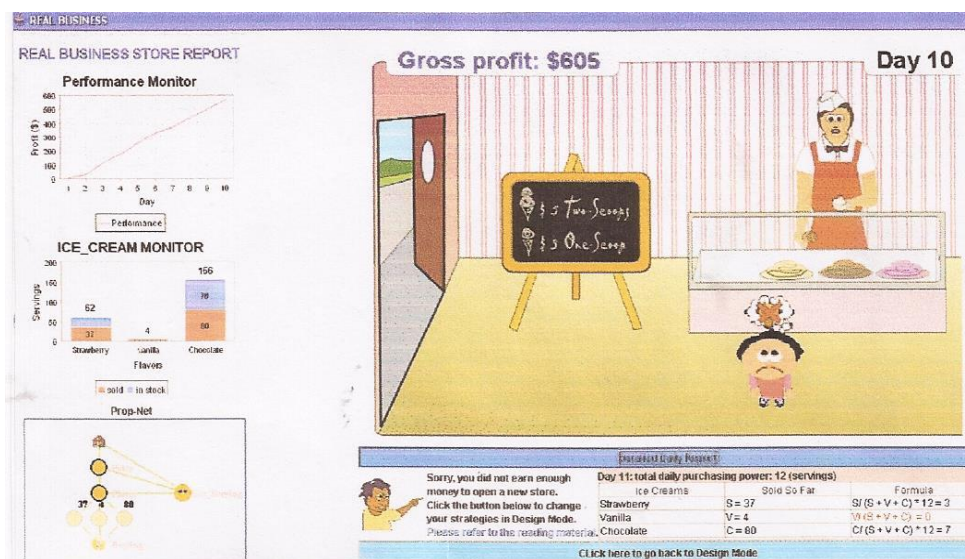
Los pupilos pueden grabar en el Modo de Diseño la red de relaciones que han establecido y así realizar cambios. Esto se logra guardando las redes proposicionales en archivos de tipo XML, lo cual permite retornar a una sesión anterior descargando el archivo y continuando a partir de allí.

*REAL Business* pretende hacer accesibles los fundamentos de la Probabilidad a niños de 11 años. El juego simula la situación en una heladería. El objetivo del agente reflexivo es encargar cada día la cantidad suficiente de helado en previsión de las cantidades de helado de diferentes sabores que los clientes puedan consumir diariamente. Los sujetos observan en la pantalla algunos datos estadísticos relativos al consumo que están ordenados en forma

---

26 El Sistema está concebido para enseñar a niños de Educación Primaria y, como es obvio, mantiene un alto nivel de elementalidad. A diferencia de PSICO-A, ideado para la enseñanza de la Psicología a estudiantes preuniversitarios o de primer ciclo universitario.

de árbol. Los estudiantes han de aplicar una serie de fórmulas matemáticas muy simples para que el dependiente de la heladería pueda prever los encargos que va a recibir cada día. Pulsando sobre el Modo de Juego, se desarrolla una escena simulada en la que un carácter virtual que actúa como cliente, repetidamente le pide un helado al comprador y pone a prueba la habilidad del alumno para haber previsto las cantidades de helado de fresa, vainilla y chocolate que han de estar a disposición del agente que actúa como dependiente de la heladería. A diferencia de *REAL Planet*, en *REAL Business* los estudiantes han de ir más allá de las reglas contextuales locales básicas y han de pensar en macro-estrategias para el negocio (Bai y Black, 2011). Los sujetos pueden regresar al Modo de Diseño y cambiar las fórmulas matemáticas elaboradas con anterioridad. Los datos son coleccionados, reorganizados y presentados a través de diagramas de barras, curvas funcionales y otros procedimientos, tal y como el lector puede observar:



**Figura 36** - Pantalla del Modo de Juego (derecha) y del Modo de Reflexión (izquierda) de *REAL Business* (Bai y Black., 2011, p. 57).

Cuando el Modo de Juego entra en funcionamiento, el motor de reglas descarga las propiedades de los agentes y sus relaciones en forma de “JAVA Beans”<sup>27</sup>. Se producirá una animación en forma de una imagen. Algunos

<sup>27</sup> JAVA es un lenguaje de programación de alto nivel orientado a objetos (Gosling, 1995). Los “Javabeans” sirven para encapsular varios objetos en un único objeto y así simplificar la programación.

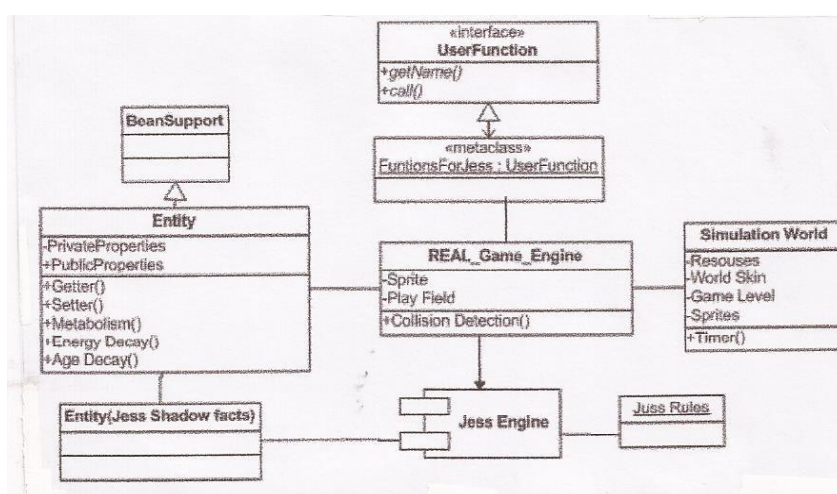
agentes serán activos mientras que otros permanecerán en localizaciones relativamente fijas. Son objetos observables JAVA cuyo cambio de estatus es notificado al motor de reglas. El motor de reglas verifica la memoria operativa del Sistema y decide qué patrones exhiben las correspondientes reglas. El motor de razonamiento está diseñado en lenguaje JESS o lenguaje JAVA basado en reglas (Friedman-Hill, 2003). La sintaxis de JESS es similar a la del lenguaje LISP pero está escrito en JAVA. El motor de reglas, basado en JESS, monitoriza las actuaciones de los agentes como hechos declarativos en un modo virtualmente en paralelo. Los agentes razonan y actúan, ajustando sus comportamientos a patrones que residen en las reglas ya predefinidas en el Módulo del Estudiante. Así pues, los agentes pueden decidir sí o no actuar de acuerdo a sus metas y creencias. También son capaces de un comportamiento flexible (Bai y Black, 2011). Por ejemplo, en *REAL Business*, si un cliente desea comprar un helado de fresa y los helados de fresa están agotados, el cliente abandona la heladería y el dependiente decide encargar helados de fresa para el día siguiente. El dependiente, cuya tarea es la de que el negocio funcione, es el agente reflexivo. Precisamente, la labor del estudiante es la de generar reglas de producción que hagan que el agente reflexivo encargue más tipos de helado en función de las necesidades que se vayan dando. Y para conseguir esto, el estudiante ha de incorporar información sobre el cliente, a través de árboles de decisión, fórmulas probabilísticas y tamaños de la muestra. En el Modo de Juego, el agente reflexivo actuará de acuerdo con las representaciones del conocimiento introducidas por el sujeto humano. Es como si simulara el modelo mental del estudiante en un escenario específico.

El agente pedagógico o Módulo de Estrategias de instrucción, maneja un sistema basado en reglas que permite determinar los errores conceptuales del estudiante así como aportarle el “feedback” correspondiente. Los errores conceptuales del alumno pueden verse como discrepancias entre las conductas del agente reflexivo y del agente experto o Módulo de conocimiento experto. Si el rendimiento del agente reflexivo es notablemente inferior al del agente experto, entonces el estudiante es invitado a rediseñar su agente. Para



ello recibirá ayuda a través de la presentación de datos exhibidos en diferentes formatos.

La interfaz (agente de comunicación) ha sido diseñada por los autores, usando “Microsoft Agent” y emulando la interacción comunicativa humana, a través de gestos realizados por los agentes virtuales o de voces generadas por la máquina. Veamos a continuación la estructura computacional de la arquitectura de agentes en REAL (figura 37). Su base es el motor de reglas programado en JESS, una interfaz fundamentada en metaclases, típica de JAVA, y un motor del Juego.



**Figura 37** - Arquitectura computacional de agentes de REAL (Bai y Black., 2011, p. 59).

Bai y Black (2011) han aplicado métodos de evaluación interna y externa a REAL, verificando su validez como método de enseñanza. En un estudio de evaluación externa aplicado a *REAL Business*, participaron 27 graduados de la Escuela de Educación de la Universidad de Columbia. Se comentó a los participantes que habrían de enseñar a un agente virtual el negocio de una heladería. Durante cinco minutos leyeron unas instrucciones que incluían conceptos de probabilidad. Entonces recibieron un pre-test que evaluaba su nivel de comprensión de los conceptos y una información, mediante el ordenador, sobre la finalidad del juego y algunas reglas básicas del mismo. Tras ser informados sobre las herramientas de aplicación de REAL, los graduados empezaron a diseñar y a poner en marcha la simulación. Cada vez

que un usuario pasaba del Modo de Diseño al Modo de Juego, esto quedaba reflejado en el ordenador en formato XML. Los usuarios podían descargar cualquiera de estas sesiones grabadas y continuar su tarea de diseño. Finalmente, los participantes recibían, como post-test, un cuestionario idéntico al cuestionario recibido en el pre-test, y rellenaban además otro cuestionario con las siguientes preguntas: “¿Usar REAL ha aumentado tu interés acerca de la Probabilidad?”, “¿REAL te ha dado más confianza para entender y usar probabilidades?” y “¿Quieres aprender más Probabilidad?”. De 20 sujetos que completaron la tarea, el promedio fue de 4 (de acuerdo) sobre una escala de Likert, como respuesta a la primera pregunta, de 3,7 a la segunda cuestión y de 3,9 a la última pregunta (para 1=nada de acuerdo; 2=en desacuerdo; 3=neutro; 4=de acuerdo y 5= muy de acuerdo).

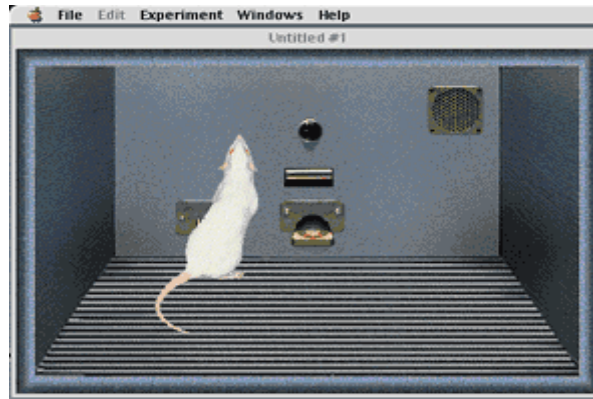
En general, a los participantes les pareció atractiva la simulación y la interfaz del juego. La capacidad para manejar conceptos probabilísticos fue mejorada por el uso de *REAL Business*. La gran mayoría de los participantes (20) supieron usar la combinación de constantes y variables en las fórmulas probabilísticas que tuvieron que emplear. A su vez, expresaron mayoritariamente que creían que este juego de aprendizaje encandilaría a los niños. Por otro lado, y desde la perspectiva del diseño computacional, REAL es fácilmente reutilizable y modularmente extensible, algo que también va a caracterizar la arquitectura computacional de PSICO-A. Los módulos están muy bien definidos así como la interfaz entre ellos. Las limitaciones de REAL son las típicas de cualquier Sistema Tutor existente: en particular, la especificidad del dominio, puesto que permanece como un aspecto todavía no resuelto la creación de entornos de aprendizaje independientes del dominio, así como la aplicación del “feedback” adecuado para cada situación (positivo, negativo, inmediato, retardado, etc.) No obstante, dada la arquitectura modular tan bien definida de REAL, es fácil añadir el “feedback” adecuado, aún cuando, obviamente, esto suponga una actividad de tipo “hand-made tailored”. El diseño de PSICO-A buscará cumplir tal ideal de flexibilidad constructiva en el diseño.

# **CAPÍTULO 3. SNIFFY, LA RATA VIRTUAL:UN PROGRAMA PARA LA ENSEÑANZA DEL APRENDIZAJE CONDICIONADO**

Si echamos un vistazo al mercado de sistemas informáticos dedicados a la enseñanza de la Psicología, nos encontramos con una gran sorpresa: apenas hay diseños específicos para la enseñanza de esta materia. A intentar paliar esta circunstancia está dedicada esta Tesis Doctoral, a través del Sistema PSICO-A. No obstante, sí hay algún que otro programa informático específico. Sin duda, el más relevante es “Sniffy, la rata virtual”, un entorno de simulación gestado para la enseñanza del condicionamiento clásico y del condicionamiento operante. Por su carácter pionero para la enseñanza de una parcela de la Psicología, dedicamos este apartado a describirlo. El proyecto surgió a comienzos de la década de los años 90 del siglo pasado. Graham, Alloway y Krames (1994) introdujeron un programa de ordenador que servía para demostrar al estudiante efectos del condicionamiento pavloviano, tales como la generalización o discriminación de los estímulos. A su vez, en la animación correspondiente a una caja de Skinner que contenía a Sniffy, una rata virtual, los alumnos aprendían los fundamentos del condicionamiento operante. El programa *Sniffy* fue mejorado y adaptado al sistema operativo Windows 98, en la versión de Alloway, Wilson y Graham (2005), *Sniffy the virtual rat: Pro version 2.0*. La versión *Pro* se diferencia de la versión *Lite* en que esta última solo se ocupa de los aspectos más básicos del condicionamiento mientras que la primera cubre aspectos avanzados de este tipo de aprendizaje. Alloway, Wilson y Graham (2011) ya han sacado la versión 3.0, versión adaptada al sistema operativo Windows 7.

El programa presenta al estudiante una imagen de una rata virtual situada dentro de una cámara experimental. La animación está muy conseguida puesto que se basa en filmaciones de los movimientos de una rata real, como puede apreciarse en la siguiente imagen:





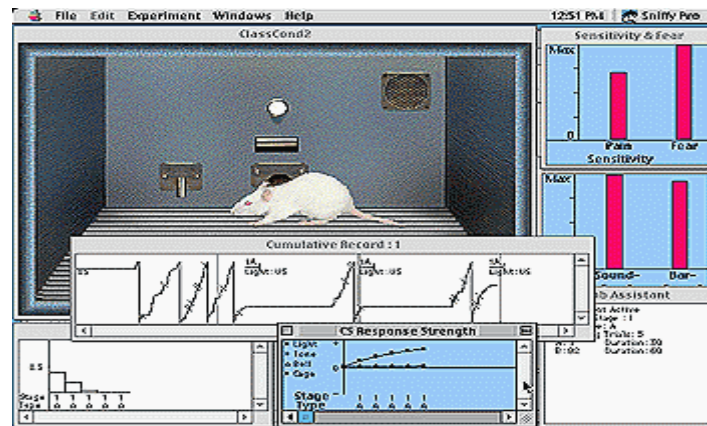
**Figura 38** - Pantalla principal de *Sniffy* para ordenador Macintosh  
([http://www.wadsworth.com/psychology\\_d/special\\_features/ext/sniffy/about.htm](http://www.wadsworth.com/psychology_d/special_features/ext/sniffy/about.htm)).

En el menú de “Experimento”, los sujetos pueden pulsar el Diseño de Experimento de Condicionamiento Clásico o el Diseño de Experimento de Condicionamiento Operante. En el primer caso, el estudiante puede escoger estímulos condicionados de variada intensidad, estímulos que pueden ser una luz, un tono o el sonido de una campana. La duración de los mismos, sin embargo, es siempre de 30 segundos mientras que el estímulo incondicionado, en forma de shock, tiene una duración de 1 segundo. Veamos la pantalla de “Experimento”:



**Figura 39** - Pantalla principal del Menú “Experimento” de *Sniffy*  
([http://www.wadsworth.com/psychology\\_d/templates/student\\_resources/0534633609\\_sniffy2/sniffy/about.htm](http://www.wadsworth.com/psychology_d/templates/student_resources/0534633609_sniffy2/sniffy/about.htm)).

El programa simula una amplia variedad de principios del condicionamiento pavloviano, como la extinción y la recuperación espontánea de respuesta, la inhibición, el precondicionamiento sensorial o el condicionamiento de orden superior. El sujeto puede modificar los parámetros y así examinar la producción de diferentes efectos (cambiando, por ejemplo, la intensidad del estímulo condicionado), como puede observarse aquí:



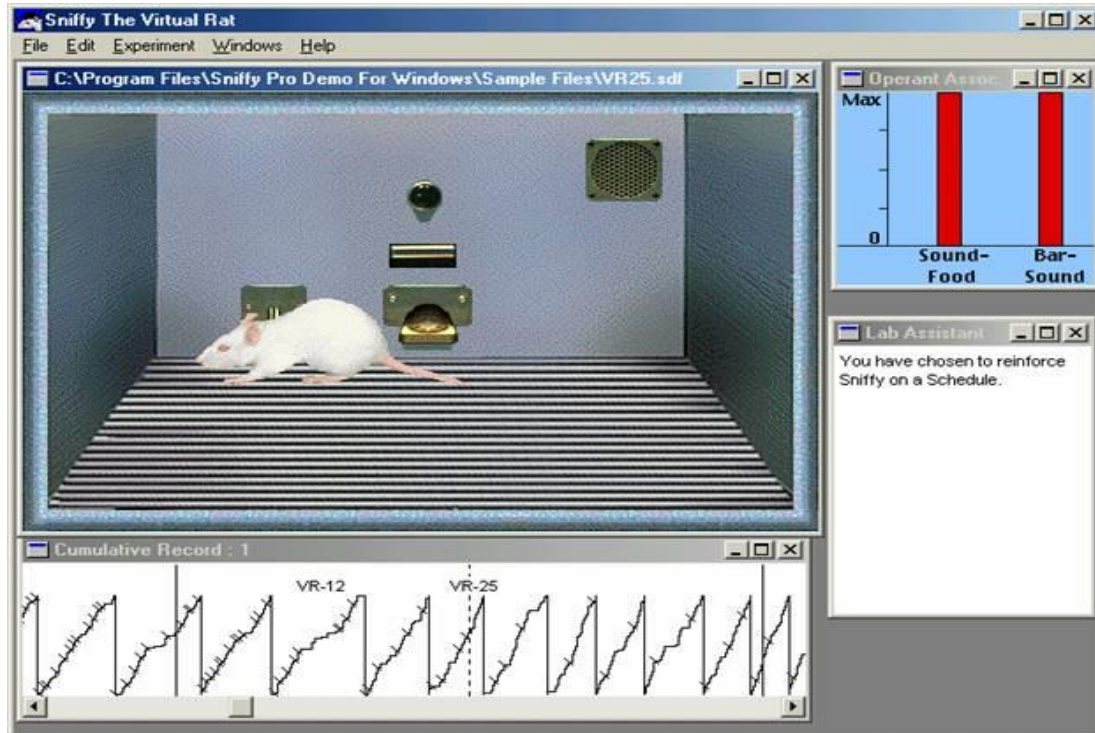
**Figura 40** - Modulación de efectos en un experimento de condicionamiento clásico  
([http://www.wadsworth.com/psychology\\_d/special\\_features/ext/sniffy/exer3.htm](http://www.wadsworth.com/psychology_d/special_features/ext/sniffy/exer3.htm)).

La parte del menú “Experimento”, bajo el rótulo “Diseño de Experimento de Condicionamiento Operante”, permite al alumno construir un experimento de esta clase de condicionamiento. En el entorno de una caja de Skinner, el programa permite al usuario la especificación y el estudio de las respuestas, como, por ejemplo, la presión de la barra ejercida por Sniffy:



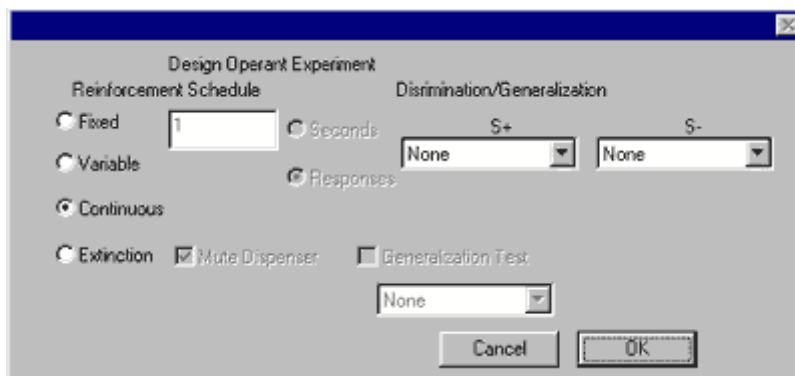
**Figura 41** - Diseño de un experimento de condicionamiento operante  
([http://www.wadsworth.com/psychology\\_d/special\\_features/ext/sniffy/exer1.htm](http://www.wadsworth.com/psychology_d/special_features/ext/sniffy/exer1.htm)).

El programa va grabando las respuestas de la rata virtual, como se ha plasmado en la figura 41. El estudiante puede ir alterando los parámetros de los diversos refuerzos, tal y como se puede apreciar contemplando la figura 42:



**Figura 42** - Entrenamiento de Sniffy mediante refuerzos  
([http://www.wadsworth.com/psychology\\_d/special\\_features/ext/sniffy/exer1.htm](http://www.wadsworth.com/psychology_d/special_features/ext/sniffy/exer1.htm)).

Los experimentos sobre condicionamiento operante incluyen aspectos tales como el refuerzo, el refuerzo secundario, el castigo y la discriminación, elementos todos ellos fácilmente parametrizables a través de cuadros de diálogo como el siguiente:



**Figura 43** - Entrenamiento de Sniffy mediante refuerzos (Alloway et al., 2005, p. 192).

*Sniffy* es un tipo de programa educacional cuya repercusión se hace patente sobre PSICO-A, en especial por lo que concierne a la importancia conferida a la interacción con el alumno, el cual, al modificar una serie de parámetros, aprende observando el efecto de tal variación sobre la conducta exhibida por una rata virtual en una simulación. En consecuencia, principios pedagógicos constructivistas básicos afloran de una manera muy concreta en este programa, quizá el sistema informático más difundido en el mundo para la enseñanza de una materia psicológica básica como es el aprendizaje por condicionamiento.

## **CAPÍTULO 4. PSICO-A: LOS FUNDAMENTOS DE SU DISEÑO Y DE SU ARQUITECTURA COMPUTACIONAL**

## 1. EL “FRONT-END” DE PSICO-A

En el capítulo segundo de esta Tesis ya expusimos los fundamentos teóricos en los que se asienta el estilo de enseñanza del Sistema PSICO-A. Ahora es el momento de describir la estructura de su diseño así como el marco computacional que rige la programación del mismo.

PSICO-A ha sido desarrollado como un sistema para la Web, aunque también está disponible como un programa accesible desde el escritorio de un ordenador (la versión de escritorio ha sido inicialmente probada en los sistemas operativos Microsoft Windows XP y Microsoft Windows 7).

En la versión para Internet, el navegador en el que alcanza su mejor rendimiento es OPERA, en cualquiera de sus opciones a partir de la 12, pero también funciona en GOOGLE CHROME a partir de su versión 9, corre a partir de la versión 8.0 de MOZILLA FIREFOX y está adaptado a la versión 9 del navegador INTERNET EXPLORER. Si el usuario emplea versiones anteriores de estos navegadores, un aviso le informa de la incompatibilidad de las mismas para acceder al programa.

Nuestro Sistema posee alojamiento propio en el dominio “psico-a.org” y la dirección URL de entrada es: <http://psico-a.org/secure/login/><sup>28</sup>. También puede ingresarse al dominio “psico-a.eu” a través de las dos siguientes direcciones de blog:

<http://artificial-socialcognition.blogspot.com.es/2013/07/psico-aeu.html> y  
<http://psico-agentes.blogspot.com.es/>.

PSICO-A consta de un “front-end”<sup>29</sup> o interfaz del usuario, que es el área en la que el estudiante interactúa con el sistema y, a su vez, de un “back-end”

---

28 La versión de escritorio mantiene las mismas características funcionales que la de Internet y es la que hemos usado para evaluar el Sistema con los alumnos. En el Anexo 8 se encontrará una lista básica de instrucciones para manejar ambas versiones.

29 Para entrar en el “front-end” hay que escribir, en la credencial de acceso, el término “alumno” en usuario y el término “nata” como contraseña. Para acceder al “back-end” se ha de introducir el término “profe” en usuario y mantenerse la misma contraseña. Las contraseñas son sensibles a las mayúsculas.

o interfaz del profesor ( lugar en el que el profesor realiza los ajustes del Analizador y recibe los datos del rendimiento de los alumnos). En el “front-end” encontramos una pantalla principal subdividida en los siguientes componentes: en la mitad izquierda hay un “Editor del Mapa Conceptual” que exhibe un “Menú de Archivo”, un “Menú de Modo” y un “Menú de Ayuda”. El Mapa Conceptual consistirá en una serie de recuadros ocupados por conceptos ,conectables entre sí a través de varios tipos de flechas. El Archivo despliega todos los componentes básicos de cualquier Archivo convencional de un programa: estos son “Nuevo” (que permite diseñar un nuevo mapa), “Abrir” (que abre los mapas ya contruidos y guardados), “Guardar como” (conserva los mapas ya diseñados), “Imprimir” (que imprime todas las pantallas del Sistema), “Editar mi ficha” (donde el alumno escribe su nombre pero su contraseña ha de ser forzosamente la que haya sido introducida previamente en la sección de “Alumnos” del “back-end”) y “Salir”. El Modo se despliega en “Juego”, “Reflexión” y “Simulación” y solo puede accederse a él una vez que se ha completado el Mapa Conceptual. La simulación consiste en una animación simple y el juego se basa en un juego digital. Se describirán en el Anexo 1, interviniendo allí nuestro agente virtual, MOUSI. Una vez puesta en marcha la Simulación y el Juego, el estudiante podrá ir observando sus resultados en función de su mayor o menor grado de acierto al ejecutarlos. El alumno no dispondrá de más de 10 minutos para completar cada tarea.

El Modo de Reflexión permite al alumno verificar su aprendizaje. El Sistema le formula una serie de preguntas de respuesta múltiple, la lista de las cuales viene expresada en el Anexo 2. Las respuestas del alumno reciben una calificación en el Modo de Reflexión, calificación también reflejada en el Analizador del “back-end” del Sistema. En el Módulo de Evaluación, cuyo botón está situado en la parte inferior central de la pantalla y que aparece una vez pulsado el botón de Aprendizaje, aparecen las respuestas escogidas y si son correctas o incorrectas. Pero esto solo sucede una vez que el alumno vuelve a ingresar en el Sistema, puesto que el alumno no ha de poder ver las respuestas mientras está trabajando en PSICO-A. Es en el Modo de Reflexión en el que puede visualizar el número de sus respuestas correctas-una vez que

han sido contestadas-. Este Modo aporta “feedback” al alumno, el cual es ajustado en el Analizador del Sistema: se trata de “feedback” positivo, reformulando la pregunta, en el caso de que el sujeto pida ayuda al manifestar incertidumbre (“no estoy seguro”) en su respuesta. En el Anexo 2 se encontrará una lista de “feedbacks”, en forma de pistas o de preguntas reformuladas. En la ventana de la izquierda, el Menú de Ayuda se encargará de resolver las dudas de aplicación del Sistema más frecuentes que pueda tener el sujeto. En el Anexo 3, realizaremos una reseña de las principales instrucciones que ha de recibir el alumno para desempeñar la tarea. En la ventana del diseño del Mapa Conceptual, aparecen los botones para generar los conceptos, una vez pulsado el cronómetro de la parte inferior izquierda. Arriba aparece el botón titulado “Concepto”, que va distribuyendo cajas en la pantalla y asigna conceptos a las mismas. En la caja de “Concepto” aparece una barra de “Conceptos”. Los conceptos introducidos son: CONDUCTA CONSUMATORIA, CORRECCIÓN DESVIACIONES, DESEQUILIBRIO INTERNO, EQUILIBRIO, FUERZA DE LA RESPUESTA, HÁBITO (H), HOMEÓSTASIS, IMPULSO (D), INCENTIVO (K), META, NECESIDAD, ORGANISMO, PERSISTENCIA, PRIVACIÓN, PULSIÓN, REDUCCIÓN, REFUERZO, RESERVA DE ENERGÍA, RESPUESTA y SACIEDAD. Al lado del botón “Concepto” están los botones indicativos de “Relación”, existiendo tres clases de Relaciones en forma de flechas: una flecha continua convencional designa un tipo de Relación Causal, una flecha de punta blanca denota un tipo de Relación Jerárquica y una flecha discontinua designa una clase Descriptiva de Relación. Conforme el estudiante escoge los conceptos, van dibujándose las cajas que contienen a los mismos en la pantalla y el alumno va trazando las conexiones entre ellas mediante los tipos mencionados de flechas. Las cajas de conceptos pueden ser desplazadas, suprimidas, ajustadas en su tamaño y editadas. En la zona inferior derecha de la pantalla del Editor de Mapa Conceptual (botón “info”) aparecen los conceptos y el número de flechas de distintas clases que el sujeto ha insertado al final de la tarea. En la parte central inferior de la pantalla principal hay una zona de “Iniciar Estudio” que, al ser accionada, genera arriba un botón amarillo de “Aprendizaje” y un sumario de Contenidos, así como, a la derecha, la Unidad



Didáctica a estudiar. Para su estudio se dispone de un tiempo máximo de 15 minutos, medido por el cronómetro central. El estudiante podrá parar el cronómetro pero nunca antes de los 10 minutos. En el Anexo 4 aparecerán los contenidos del tema escogido, “La teoría de la reducción del impulso de C. Hull”. Sus epígrafes esenciales se marcan mediante colores en el texto, al ser accionados en el área de Contenidos.

Al pulsar sobre el botón de “Aprendizaje” de la parte superior central, desaparece la ventana de la Unidad Didáctica y surgen los botones de “Conocimientos previos”, “Bloc de notas”, “Juicios de Confianza”, “Juicios Metacognitivos” y “Evaluación”. En un tiempo de 2 minutos el sujeto ha de expresar si conocía o no algo del tema antes de haberlo estudiado y el qué (Conocimientos previos). El Bloc de notas supone un ejercicio de recuperación libre de lo estudiado en un tiempo máximo de 10 minutos. Nuestro Analizador del “back-end” o interfaz del profesor, permitirá averiguar los conceptos introducidos y su manera de definirlos mediante el uso de diversas medidas de similaridad y de distancia<sup>30</sup> sobre ristas de signos (listas de palabras). La justificación pedagógica de la utilidad de este Bloc de notas ya ha sido dada en el capítulo primero de esta Tesis y se atiene a las ventajas para el aprendizaje de la recuperación libre de lo aprendido (Karpicke y Blunt, 2011) con respecto a las técnicas de estudio de tipo comprensivo, basadas, por ejemplo, en el uso de mapas conceptuales. Este es uno de los aspectos que amplían la capacidad pedagógica de PSICO-A y que le confieren una cierta singularidad: la conjugación de aprendizaje comprensivo con aprendizaje retentivo.

El botón de Juicios de Confianza despliega una ventana en la que se pide al sujeto que introduzca su grado de confianza (en forma de un porcentaje) acerca de su aprendizaje de la Unidad Didáctica. El Área de Juicios Metacognitivos consta de 10 juicios, con respecto a los cuales el alumno habrá de escoger y marcar una de cuatro opciones que quedan grabadas (en función

---

30 Exactitud, Cuasi Exactitud, Similaridad, Levenshtein (1966), Hamming (1950) y la adaptación de Estrella y Duboue (2005) al castellano del algoritmo de lematización de Porter (1980).

de las respuestas, una escala clasificará a los alumnos según su mayor o menor capacidad metacognitiva). Todos estos pasos del área de Aprendizaje tienen que ser realizados con anterioridad a la confección del Mapa Conceptual y antes de que se ponga en funcionamiento el Modo de Juego, el Modo de Simulación y el Modo de Reflexión. Más abajo del botón de Juicios Metacognitivos está el ya descrito botón de Evaluación.

A continuación insertamos una serie de imágenes de las pantallas principales de PSICO-A:

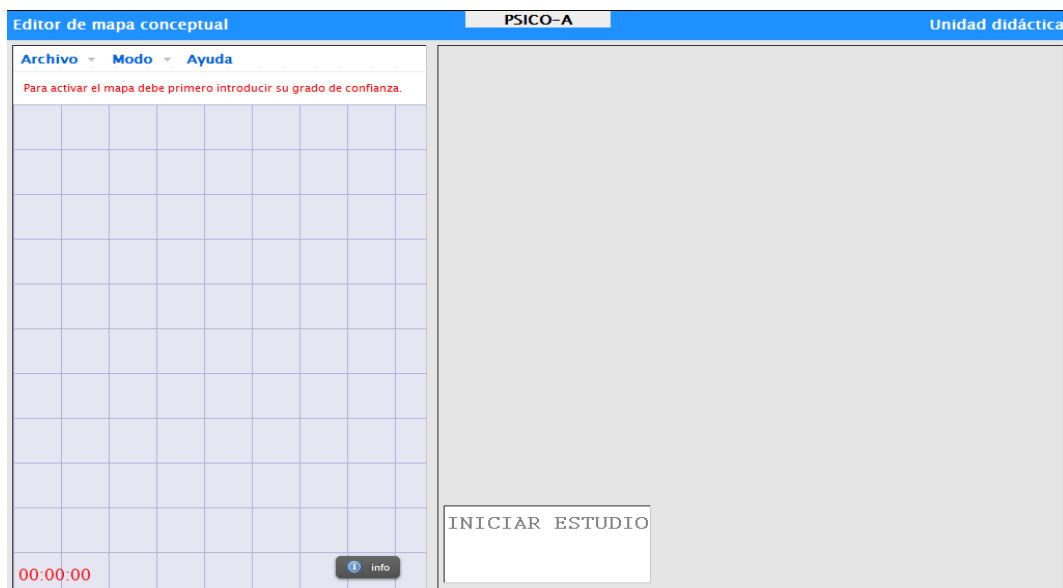


Figura 44 - Pantalla inicial.

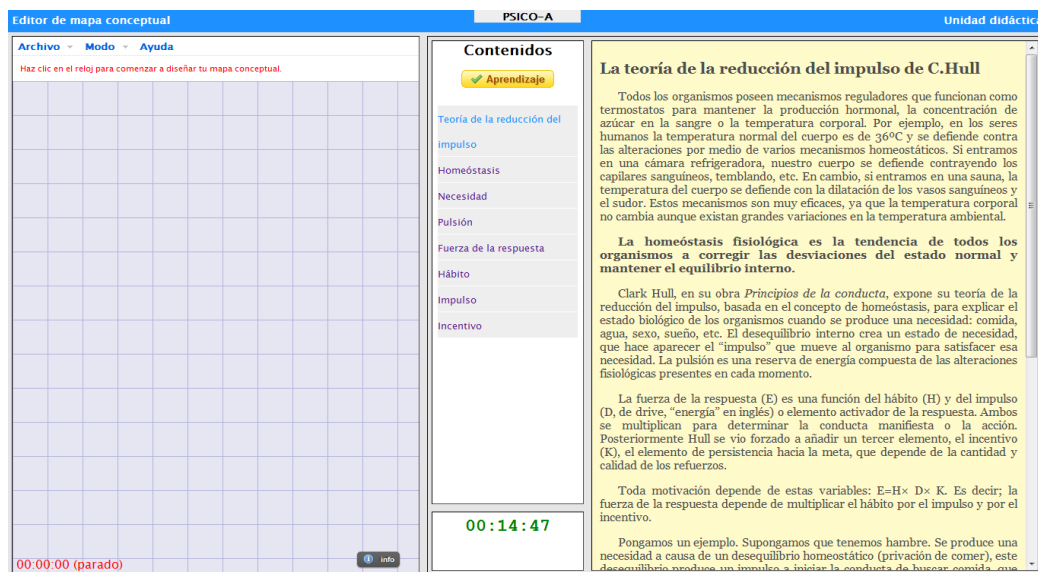
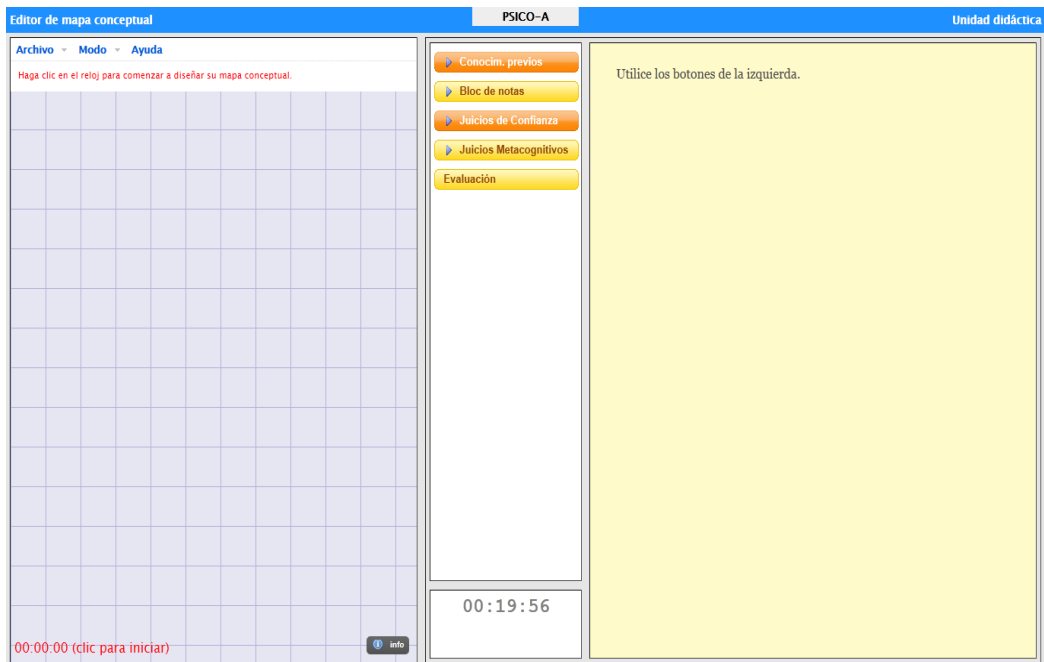
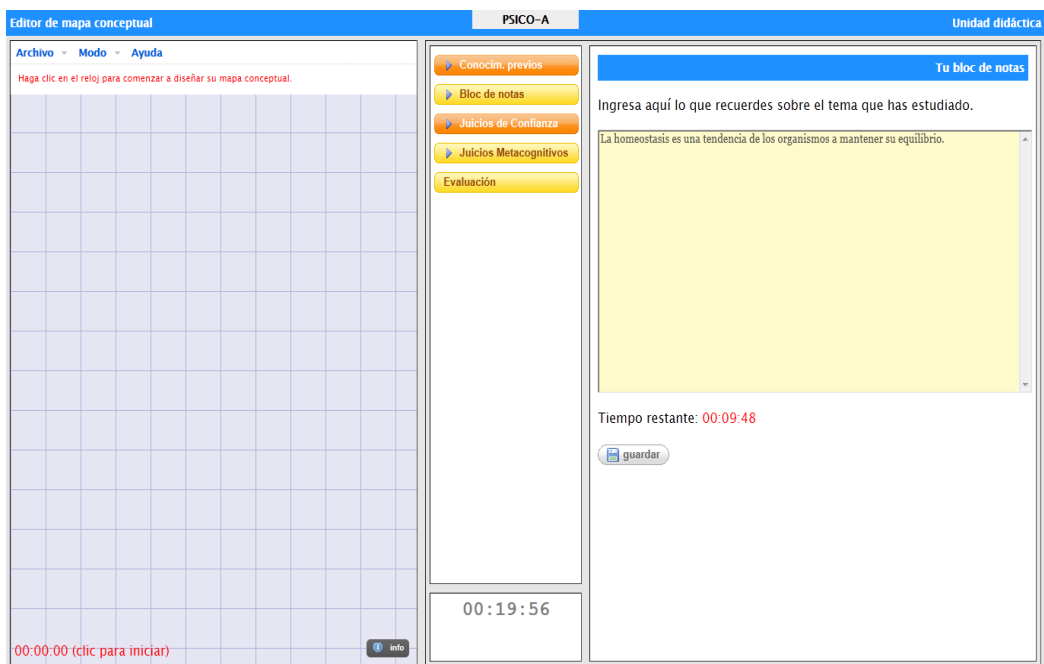


Figura 45 - Pantalla principal, incluyendo la UNIDAD DIDÁCTICA.



**Figura 46 - Pantalla de APRENDIZAJE.**



**Figura 47 - Pantalla mostrando el BLOC DE NOTAS.**

Editor de mapa conceptual

PSICO-A

Unidad didáctica

Archivo

Modo

Ayuda

Haga clic en el reloj para comenzar a diseñar su mapa conceptual.

00:00:00 (clic para iniciar)

info

Conocim. previos

Bloc de notas

Juicios de Confianza

Juicios Metacognitivos

Evaluación

00:19:56

Área de juicios de confianza

Elige tu grado de confianza sobre tu aprendizaje del tema estudiado.

00%

10%

20%

30%

40%

50%

60%

70%

80%

90%

100%

guardar

**Figura 48 - Pantalla de JUICIOS DE CONFIANZA.**

Editor de mapa conceptual

PSICO-A

Unidad didáctica

Archivo

Modo

Ayuda

Haga clic en el reloj para comenzar a diseñar su mapa conceptual.

00:00:00 (clic para iniciar)

info

Conocim. previos

Bloc de notas

Juicios de Confianza

Juicios Metacognitivos

Evaluación

00:19:56

Área de Juicios Metacognitivos

Responda a las siguientes preguntas para determinar su juicio de confianza en el tema.

1. El conocimiento del tema:

1. lo he manejado a través de palabras

2. lo he manejado a través de imágenes

3. lo he manejado a través de ideas

4. lo he manejado sin más, sin saber bien a través de qué

2. Cuando he tenido que recordar el tema:

1. sé lo que he tenido que hacer para luego recordarlo

2. sabía si era fácil o difícil recordarlo

3. he ido rellenando las lagunas que tenía al recordarlo

4. lo he recordado sin más, sin haber hecho nada de particular

3. Cuando he recordado algún aspecto del tema:

1. he seleccionado y he puesto en claro los objetivos de mi recuerdo

2. he controlado el proceso de mi recuerdo

3. he evaluado mi eficacia al recordar

4. con recordar he tenido bastante

4. Cuando recuerdo:

1. mi recuerdo abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad recordada

2. puedo mejorar mi recuerdo dándome cuenta de cómo recuerdo

3. distingo entre mi propio recuerdo y lo que tengo que recordar

**Figura 49 - Pantalla del Área de JUICIOS METACOGNITIVOS.**

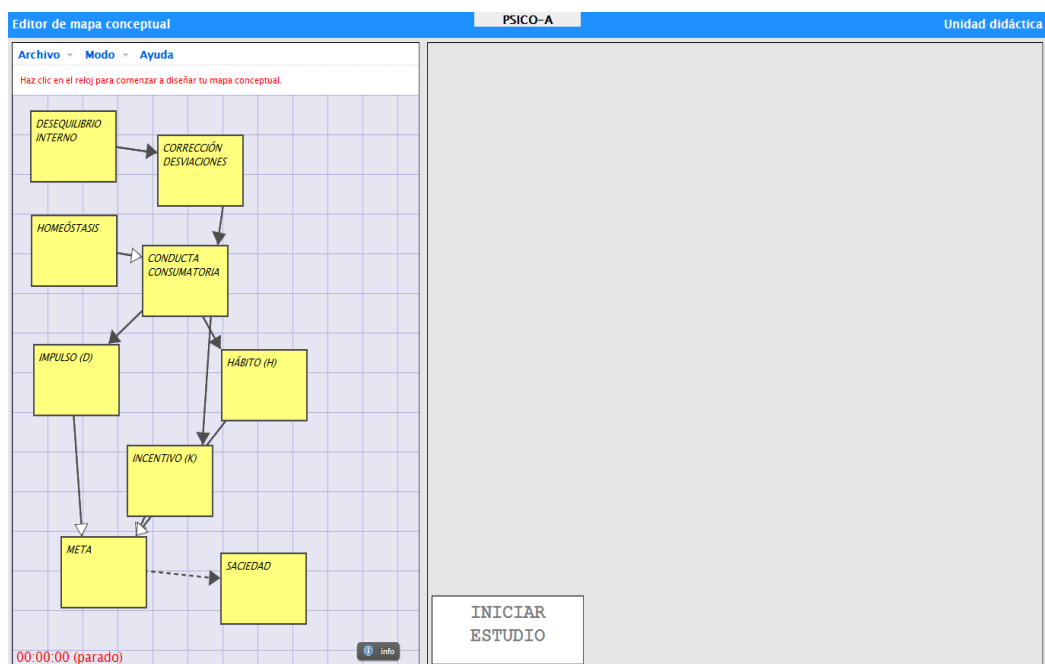


Figura 50 - Pantalla del EDITOR DE MAPA CONCEPTUAL.

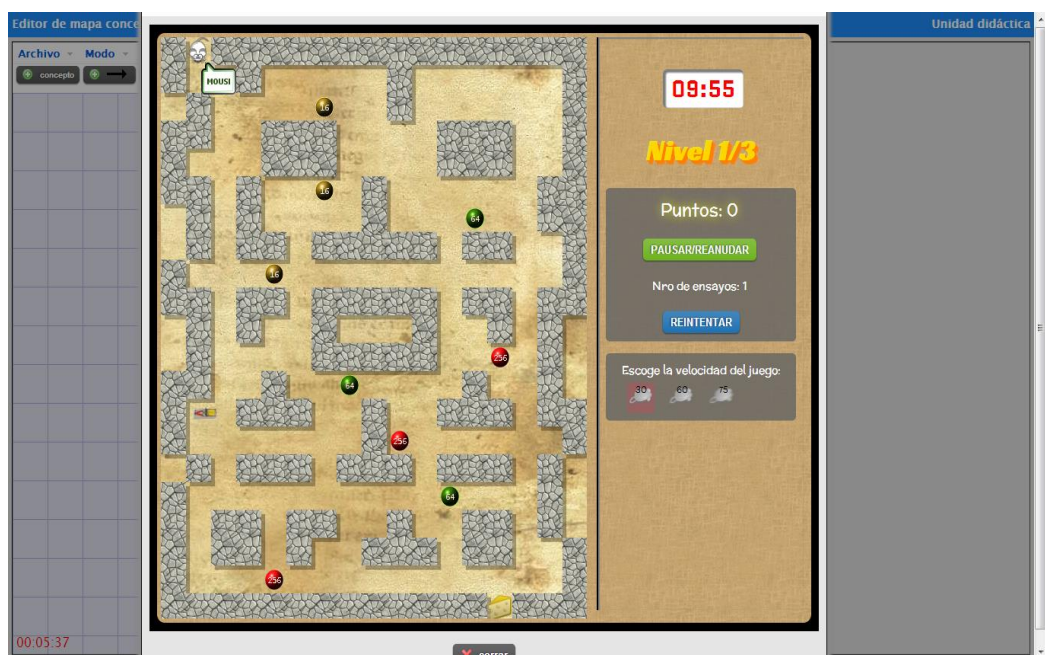


Figura 51 - Pantalla del MODO DE JUEGO.

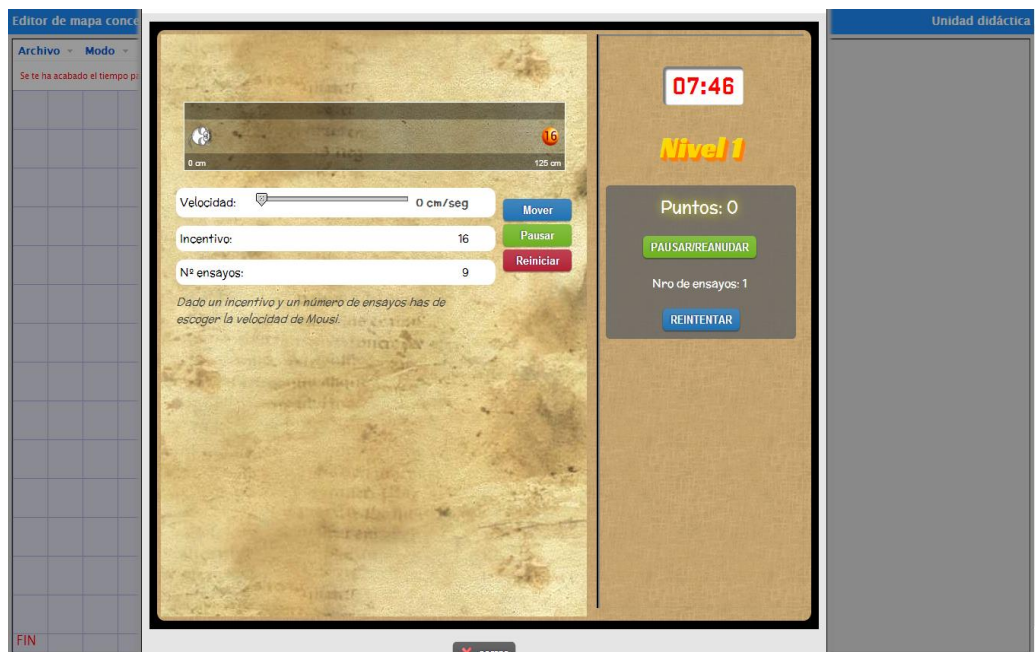


Figura 52 - Pantalla del MODO DE SIMULACIÓN.

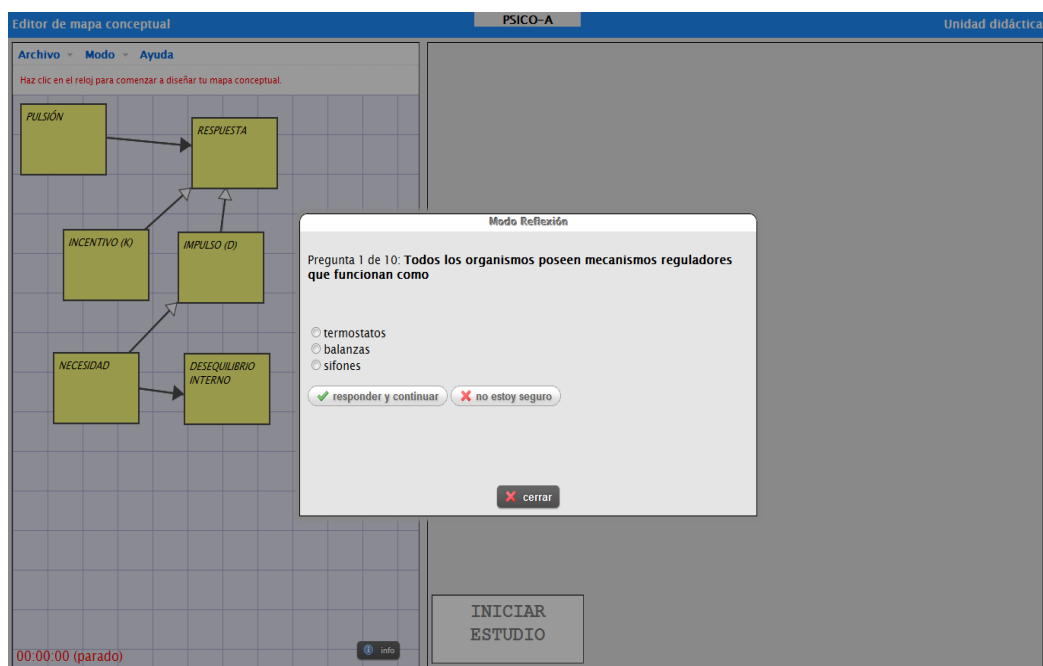


Figura 53 - Pantalla del MODO DE REFLEXIÓN.

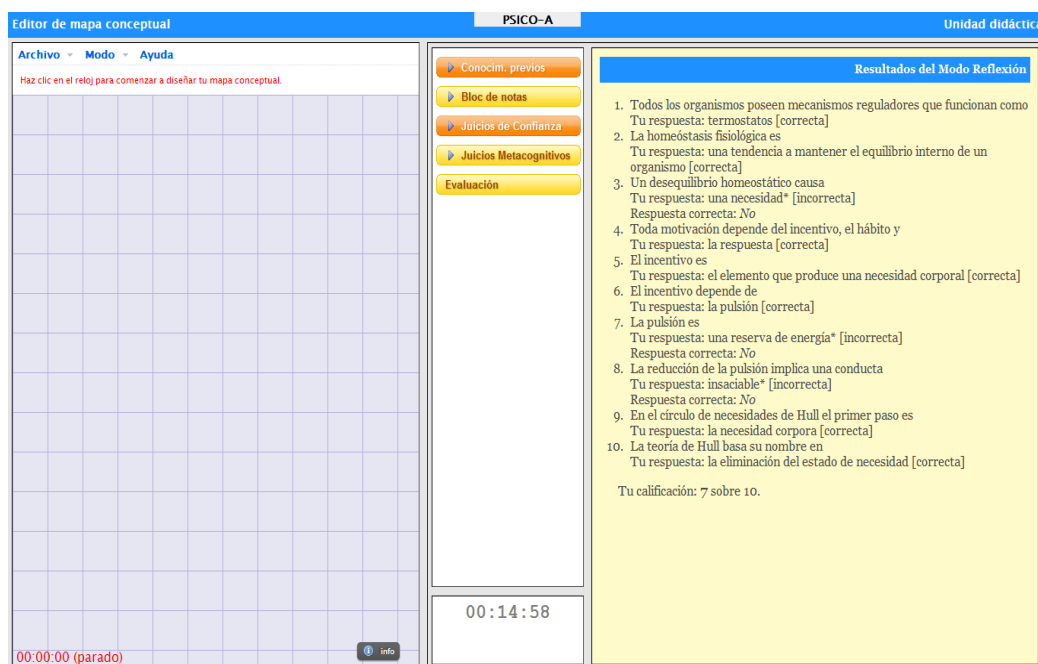


Figura 54 - Pantalla del MODO DE EVALUACIÓN.

## 2. EL “BACK-END” DE PSICO-A

El “back-end” o interfaz del profesor es el corazón del funcionamiento de nuestro Sistema. Su núcleo es un Analizador del rendimiento del alumno que permite la interpretación y verificación de sus respuestas dadas en lenguaje natural. De entre los sistemas que incluyen analizadores<sup>31</sup>, ninguno (hasta donde puede saber el autor de esta Tesis) ha sido aplicado al ámbito de la enseñanza de la Psicología.

31 Mencionamos aquí “AutoTutor” (Graesser et al., 2000) y “Summary Street” (Steinhart, 2001). Ambos emplean la técnica del “Análisis Semántico Latente” (Jorge-Botana, Olmos y León, 2009) para la interpretación de las respuestas en lenguaje natural ofrecidas por los estudiantes. Se trata de una técnica matricial que analiza el contenido de los escritos de los alumnos y que busca descubrir relaciones ocultas o latentes entre palabras y párrafos. Se basa en la idea de que el agregado de todos los contextos en los que aparezca una palabra, determina la similaridad de significado entre palabras. Es una herramienta adecuada para tareas muy abiertas, como la escritura de resúmenes de textos descriptivos o literarios. El Analizador de PSICO-A está desarrollado para una tarea más específica y cerrada, como es la localización de conceptos en tareas de recuerdo libre de pequeños textos muy constreñidos y de contenido técnico. Nosotros haremos uso de la combinación de medidas de similaridad y de distancia entre secuencias de símbolos, tales como el algoritmo de similaridad de Oliver (1994) o la distancia de Levenshtein (1966). Otro enfoque también fundado en el ajuste estructural entre secuencias de símbolos pero distinto al nuestro porque emplea autómatas finitos, es el del Sistema CIRCSIM para la Medicina.

Para entrar en el “back-end”, hemos de introducir en la credencial de acceso el nombre de usuario “profe” y la contraseña “nata”. Encontramos en él, una zona de Evaluación, una zona de Usuarios y un botón de salida.

El Analizador permite introducir Preguntas y los “Feedback” para las Preguntas correspondientes (véase la figura 55):

PSICO-A Evaluación Usuarios Salir

Evaluación Preguntas

Preguntas de evaluación: Editar pregunta

Datos

Pregunta \* Todos los organismos poseen mecanismos reguladores que funcionan como

Opciones \* termostatos  
balanzas\*  
sifones

Lista de opciones separadas por |, la primera es considerada la correcta.

Feedback \* ¿Qué aparato impide que la temperatura suba o baje de un grado conveniente?

Explicación \* Termostatos: son mecanismos reguladores que, conectados con una fuente de calor, impiden que la temperatura suba o baje del grado conveniente.

Explicación del concepto a mostrar si se responde incorrectamente.

guardar cancelar

PSICO-A BACKEND | Bienvenido

**Figura 55** - Preguntas de evaluación en el “back-end”.

En el sector de Usuarios (Alumnos) y en Datos del rendimiento, el Analizador permite localizar los conceptos (y sus definiciones si se requiere) introducidos por el alumno en el Bloc de Notas. Tanto en el editor de las listas como en el de los conceptos es fundamental introducir un código de identificación de los elementos introducidos. En el caso de las listas, no solo pueden introducirse palabras aisladas, sino también frases enteras, siempre separadas por comas. Dichas listas, al ser guardadas, son comparadas por el Sistema con las secuencias de términos introducidas por el alumno en el Bloc de notas del “front-end”. Las listas son utilizadas luego en las ecuaciones de los conceptos. En las ecuaciones el nombre de las listas debe ser perfectamente igual. Es recomendable no usar espacios en los nombres de listas. Por ejemplo, escríbase "hamming (1,lista17)", sin espacio entre “lista” y “17”.



En dichas listas de palabras se pueden introducir términos sinónimos a los conceptos ya dados y, en consecuencia, una función de sinonimia dentro de nuestro Sistema. Puede recurrirse, por ejemplo, a una lista de sinónimos de WordNet en castellano (Fernández-Montraveta y Vázquez, 2006), seleccionando aquellos que correspondan a los términos categoremáticos básicos del texto dado. En PSICO-A, hemos escogido los siguientes sinónimos (en azul) para nuestra lista de términos prefijados de la izquierda. Todos ellos se encuentran en el texto de la Unidad Didáctica:

CONDUCTA □ COMPORTAMIENTO.  
 CONSUMATORIA □ SATISFECHA.  
 CORRECCIÓN □ CAMBIO.  
 DESEQUILIBRIO □ FALTA DE EQUILIBRIO, PÉRDIDA DE EQUILIBRIO.  
 EQUILIBRIO □ ARMONÍA.  
 META □ FIN, OBJETIVO.  
 NECESIDAD □ CARENCIA.  
 ORGANISMO □ SER VIVO.  
 PERSISTENCIA □ CONSTANCIA.  
 REDUCCIÓN □ DISMINUCIÓN.  
 REFUERZO □ PREMIO.  
 SACIEDAD □ SATISFACCIÓN.

Sobre estos términos sinónimos se definirán las mismas funciones de similaridad que definamos sobre los conceptos. Los conceptos deben ser identificados mediante un código diferente en cada caso, su nombre y una descripción de los mismos. Cada concepto representa o bien un concepto correcto (el cual se espera que esté presente) o bien uno incorrecto (el cual se espera que esté ausente). El Sistema determina si un concepto está presente o ausente en la respuesta del alumno, ejecutando una ecuación definida por el profesor para tal concepto. La ecuación consiste de una serie de funciones (y sus parámetros), concatenadas mediante los operadores lógicos &=Y, |= O y !=NO. Cada función devuelve un valor lógico (1=VERDADERO, 0=FALSO) y se pueden usar corchetes y paréntesis para agruparlas, como se hace convencionalmente con las expresiones matemáticas o lógicas. Y así, para “E”, expresando ecuación, “F”, función, y “A”, “B”, “C” y “D”, denotando conceptos,  $E(A)=F1 \ \& \ F2 \ \& \ F3$  expresa que A se considera presente si las funciones F1, F2 y F3 dan el valor VERDADERO;  $E(B)=F1|F2|F3$  indica que B se considera presente si al menos una de las funciones F1, F2 y F3 devuelve el valor

VERDADERO;  $E(C)=(F1|F2) \& F3$  se interpreta como que C se considera presente si F3 y al menos una de las funciones, F1 y F2, dan el valor VERDADERO;  $E(D)= !D$  o  $E(D)= !F1(D)$  expresan que D está ausente o que está ausente la función F1 aplicada a D. Cada función se aplica a cada una de las palabras de la respuesta y las funciones pueden recibir parámetros de ajuste. Si la función, aplicada a una palabra o a una secuencia de palabras, da el valor VERDADERO, el concepto aparece numéricamente expresado en la caja que corresponde al Bloc de Notas de Datos del rendimiento del Usuario. En caso contrario, simplemente es omitido. Evidentemente, se descartan artículos, pronombres y preposiciones y solo interesan los términos categoremáticos. Tampoco hay sensibilidad para las mayúsculas o para las tildes. La lista de funciones definidas se encuentra en “Editar concepto”. Las funciones tienen como parámetros una lista de palabras, anteriormente presentadas e identificadas por su código. Hay que tener cuidado en no dejar ningún espacio en blanco entre el término “lista” y su número correspondiente, al ensamblar las ecuaciones de los conceptos. Asimismo, cuando se introduce un nuevo concepto, hay que iniciar de nuevo el Sistema para que aparezca reflejado en los Datos de rendimiento del usuario. Pueden usarse listas “estáticas” de palabras (separadas por comas y encerradas entre comillas simples).

Tres de las funciones poseen como argumento un número n y hacen uso de algoritmos de distancia o de medidas de similitud entre cadenas o ristas de signos. Son la función de Similaridad ( $\text{similar}(n, \text{lista})$ ), la de Levenshtein ( $\text{levenshtein}(n, \text{lista})$ ) y la de Hamming ( $\text{hamming}(n, \text{lista})$ ). Las funciones,  $\text{exacto}(\text{lista})$  y  $\text{casi\_exacto}(\text{lista})$ , utilizan algoritmos básicos. Finalmente,  $\text{stemmer}(\text{lista})$  emplea el algoritmo de lematización de Porter aplicado al castellano. En la siguiente figura puede apreciarse nuestro Editor de Conceptos:

PSICO-A
Analizador
Usuarios
Salir

Analizador
Conceptos

Conceptos: Editar concepto

Datos

Código
CONCEPTO1
Este código es utilizado como referencia en las ecuaciones.

Nombre
Homeostasis

Descripción
Una tendencia del organismo a alcanzar el equilibrio

Ecuación
exacto(lista3)

Las expresiones se pueden agrupar con corchetes [ ] y se pueden unir mediante operadores lógicos (& = y, | = o, ! = negación). Ej.: [exacto(lista1) & casi\_exacto(lista2)] | levenshtein(3, palabra1,palabra2)

guardar
cancelar

Funciones válidas:

- exacto(lista)**: devuelve VERDADERO si la palabra examinada está en la "lista" de palabras, exactamente.
- casi\_exacto(lista)**: devuelve VERDADERO si la palabra examinada está en la "lista" de palabras sin comprobar las vocales (ej: casa y caso darían VERDADERO).
- similar(n, lista)**: devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene un grado de similitud (algoritmo de Oliver (1993)) menor o igual a "n" en al menos una palabra de la "lista".
- levenshtein(n, lista)**: devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene una "distancia de Levenshtein" menor o igual a "n" en al menos una palabra de la "lista".
- hamming(n, lista)**: devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene una "distancia de Hamming" menor o igual a "n" en al menos una palabra de la "lista".
- stemmer(lista)**: devuelve VERDADERO si la palabra examinada es aprobada por el algoritmo de Porter Stemming en al menos una de las palabras de la "lista".

Las listas pueden referenciarse por su código o bien como una lista de palabras separadas por comas y encerrada entre comillas (ej: 'palabra1,palabra2').

Figura 56 - EDITOR DE CONCEPTOS.

Al hablar de distancia entre cadenas se busca medir las diferencias que hay entre ellas. El algoritmo de Oliver (1994) analiza la semejanza entre dos cadenas, devolviendo la cantidad de caracteres iguales en un grado menor o igual a una variable numérica  $n$ . Su formulación en nuestro Analizador es: similar ( $n$ , lista) devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene un grado de similitud menor o igual a " $n$ " en al menos una palabra de la "lista". El algoritmo de Levenshtein (1966) posee múltiples utilidades, desde la detección de plagios hasta el análisis de las cadenas de ADN. Puede aplicarse a cadenas de diferente longitud y refleja el número de eliminaciones, inserciones o sustituciones requeridas para transformar una cadena fuente en una cadena objetivo. Por ejemplo, si la cadena fuente es "mesa" y la cadena objetivo es "misa", la distancia de Levenshtein es 1 puesto que es necesaria una sola transformación para que ambas cadenas sean iguales (cambiar la "e" por la "i", en este caso). Cuanto mayor es el valor de la distancia, mayor diferencia existe entre las cadenas analizadas. La expresión del algoritmo de Levenshtein en nuestro Analizador es la que sigue: levenshtein ( $n$ , lista) devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene una "distancia de Levenshtein" menor o igual a " $n$ " en al menos una palabra de la "lista".

El algoritmo de Hamming (1962) se define solo para cadenas que tengan la misma longitud, expresando el número " $n$ " los lugares en los cuales dos cadenas se diferencian. Por ejemplo, si una cadena es "casa" y la otra,

“cada”, la distancia de Hamming es 1 ya que solo se diferencian en un carácter (s/d). Se formula en nuestro Analizador como: `hamming (n, lista)` devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene una “distancia de Hamming” menor o igual a “n” en al menos una palabra de la “lista”.

Los algoritmos básicos son “exacto” y “casi\_exacto”. El primero identifica cadenas idénticas y lo enunciamos como que devuelve VERDADERO si la palabra examinada aparece exactamente en la “lista” dada de palabras. El segundo localiza cadenas idénticas sin considerar las vocales (“cosa”=“cs”) y lo formulamos como que devuelve VERDADERO si la palabra examinada está en la “lista” de palabras sin comprobar las vocales (ej.: “casa” y “caso” darían VERDADERO).

El algoritmo más usado para una función de “stemmer” o de reducción de una palabra a su raíz o lema (en inglés, “stem”), es el de Porter (1980). Permite extraer los sufijos y prefijos de palabras diferentes pero con una raíz común y así identificar palabras que expresan un contenido compartido. Para la lengua castellana, Estrella y Duboue (2005) realizaron una interesante adaptación que es la que aquí seguimos. El algoritmo lee un archivo, toma una serie de caracteres y, de esa serie, una palabra; luego valida que todos los caracteres de la palabra sean letras y finalmente aplica la lematización. El lematizador hace pasar la palabra por varios conjuntos de reglas y cada regla está constituida por un identificador, un sufijo a identificar, el texto por el que se reemplaza el sufijo, el tamaño del sufijo, el tamaño del texto que actúa como reemplazo, el tamaño mínimo que ha de tener la raíz resultante después de aplicar la regla y una función de validación que verifica si se debe aplicar la función, una vez encontrado el sufijo<sup>32</sup>. En nuestro Analizador, lo expresamos como que `stemmer (lista)` devuelve VERDADERO si la palabra examinada es aprobada por el algoritmo de Porter en al menos una de las palabras de la “lista”.

---

32 En el Anexo 6 presentamos un bosquejo de nuestra programación en PHP5 de los algoritmos mencionados.

Con todas estas funciones a la vista, ejemplifiquemos cómo construir e interpretar una ecuación en nuestro Analizador. Sea:

[exacto (lista1) & casi\_exacto (lista2)] | levenshtein (3, `palabra1, palabra2`).

Esta expresión se interpreta como que el concepto se considera presente en la respuesta sí y solo sí las palabras de la “lista1” se encuentran en forma exacta en la respuesta Y las palabras de la “lista2” se encuentran en forma casi exacta en dicha respuesta O BIEN si alguna palabra de la respuesta contiene una distancia de Levenshtein de 3 con respecto a la `palabra1` y/o a la `palabra2`. Las ecuaciones básicas de conceptos que han sido introducidas para analizar el rendimiento de los alumnos en la tarea de recuerdo libre del Bloc de Notas han sido del tipo [exacto (lista  $n$ ) | levenshtein ( $n$ , lista  $n$ ) | levenshtein ( $n+1$ , lista  $n$ )]. La función “levenshtein” permite medir la similitud entre palabras de manera muy fiable. Obviamente, otras muchas combinaciones son posibles. Si se quiere buscar la similaridad para conceptos compuestos, del estilo FUERZA DE LA RESPUESTA, por ejemplo, la función “similar”, es muy útil. La función “hamming” tiene como restricción el que exige cadenas de términos de idéntica longitud y la función “stemmer” puede localizar conceptos cuando el sujeto se ha visto obligado a escribir con extremada rapidez y no ha podido completar siquiera alguna palabra. Todavía más pronunciadamente sucede esto con la función de “cuasi-exactitud”.

Si queremos introducir una función de sinonimia (sin\_) para crear una lista de sinónimos de un término (en azul), podemos realizarlo de la siguiente manera:

Código: sin\_**DEPRIVACIÓN**

Nombre: Sinónimos de **DEPRIVACIÓN**

Palabras: **DEPRIVACIÓN**, Carencia, Privación (aparece el término y sus dos sinónimos). Y, a continuación, se pueden construir las ecuaciones, como siempre; por ejemplo, levenshtein (2, sin\_**DEPRIVACIÓN**).

Una vez dadas de alta en el Sistema las preguntas del Modo de Reflexión (véase el Anexo 2), dichas preguntas están relacionadas a una serie de reformulaciones de las preguntas o “Feedback” positivos. Estos “Feedback”

son la respuesta del Sistema ante la incertidumbre en las respuestas por parte del estudiante y pueden consistir también en explicaciones.

En la zona de Usuarios destinada a los Alumnos y en Datos del rendimiento de los mismos, aparte del Bloc de Notas y del Analizador de conceptos que allí aparecen, tenemos el tiempo de estudio dedicado al tema (en segundos), el porcentaje introducido por el estudiante en el área de Juicios de Confianza, la calificación obtenida en el cuestionario de Juicios Metacognitivos, el número de preguntas contestadas correctamente, señaladas por la ventana de Evaluación y recogidas desde el Modo de Reflexión y, para finalizar, la puntuación obtenida en el Modo de Juego y en el Modo de Simulación. Apréciase en la siguiente captura de pantalla del Sistema:

La imagen muestra una interfaz de usuario web con una barra de navegación superior que incluye los enlaces "PSICO-A", "Evaluación", "Usuarios" y "Salir". Debajo de esta barra, se encuentran los enlaces "Usuarios" y "Alumnos". El título principal de la sección es "Alumno: Datos del rendimiento".

El contenido principal está dividido en una sección "Datos" que contiene:

- Bloc de notas:** Un campo de texto con el valor "Mociedad".
- Conceptos encontrados en Bloc de notas:** Un campo de texto con el valor "conocepro11".
- Tiempo de estudio (seg):** Un campo de texto con el valor "50".
- Juicios de confianza:** Un campo de texto con el valor "8".
- Juicios Metacognitivos:** Un campo de texto con el valor "8".
- Evaluación:** Un campo de texto con el valor "2".
- Puntuación del Juego:** Un campo de texto con el valor "1184".
- Puntuación de la Simulación:** Un campo de texto con el valor "560".

En la parte inferior de la pantalla, hay una barra de estado que indica "PSICO-A BACKEND | Bienvenido".

**Figura 57 - DATOS DEL RENDIMIENTO del alumno.**

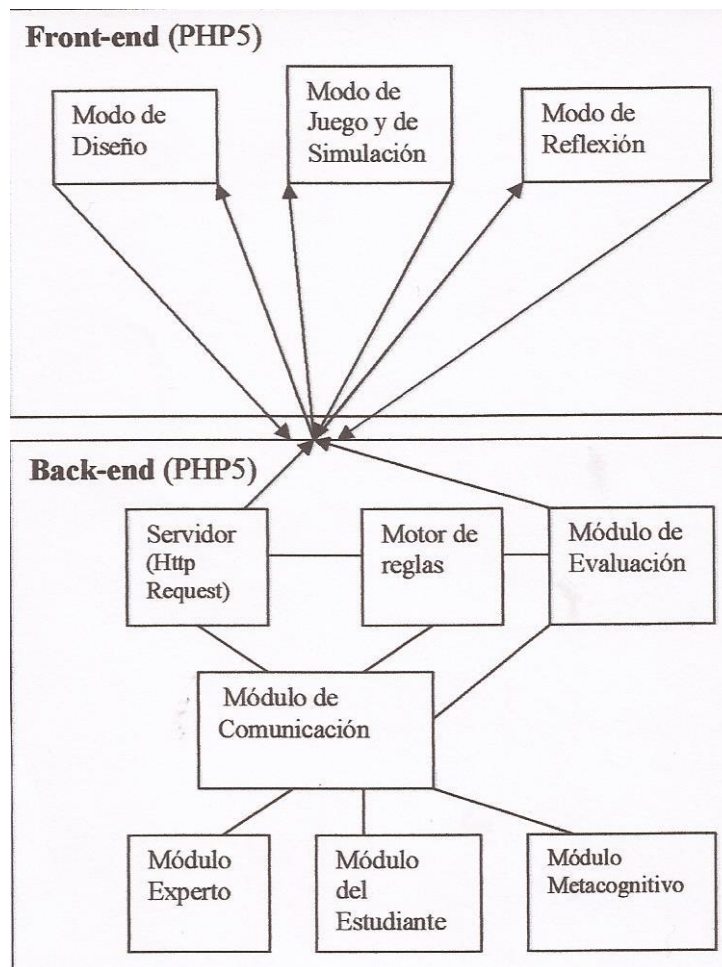
Los Profesores también pueden registrarse y así acceder al Analizador.

### 3. ARQUITECTURA COMPUTACIONAL DE PSICO-A

Hemos decidido diseñar la interfaz de PSICO-A, basada en la Web, puesto que el presente y el futuro del diseño de los sistemas de enseñanza por ordenador tiene su lugar en Internet. Las ventajas de este planteamiento resultan obvias: en primer lugar, la capacidad para almacenar datos no resiste la comparación. En segundo lugar, la flexibilidad para introducir nuevas funciones y reconfigurar el diseño, es muy superior usando los lenguajes de desarrollo Web. Finalmente, la programación mediante estos lenguajes es más sencilla que con los programas clásicos (C, Java, etc.) La arquitectura de PSICO-A consta en la interfaz de usuario o “front-end” de un Modo de Reflexión<sup>33</sup>, de un Modo de Diseño del Mapa Conceptual, de un Modo de Juego y de un Modo de Simulación. Utilizamos el lenguaje PHP5 para lograr una interfaz limpia y rápida. La comunicación entre el “front-end” y el “back-end” o parte que procesa la entrada desde la interfaz de usuario, se logra también mediante el uso de este lenguaje. El “back-end” va a ser diseñado, a su vez, empleando el lenguaje PHP5. El código de PHP se inserta en el interior de las páginas hechas con HTML y se vincula a bases de datos que generan un contenido dinámico. El “back-end” une, a través de un Módulo de Comunicación, el Módulo Experto (o de contenidos), el Módulo del Estudiante (que únicamente recopila los datos cuantitativos del rendimiento del alumno en las diversas tareas y Modos), el Módulo Metacognitivo (que analiza la capacidad metacognitiva del alumno mediante la verificación de sus juicios metacognitivos y de sus juicios de confianza), un Motor de reglas especial y un Módulo de Evaluación que se limita a recoger los resultados del Modo de Reflexión del “front-end”. Insertamos, a continuación, la representación diagramática de la arquitectura de PSICO-A:

---

<sup>33</sup> En el Anexo 6 el lector encontrará el código fuente de la programación del Modo de Reflexión de PSICO-A.



**Figura 58** - Arquitectura computacional de PSICO-A.

PHP (*PHP Hypertext Pre-processor*) (Lerdorf, Tatroe y MacIntyre, 2006) es un lenguaje de programación interpretado. Posee un gran parecido a los lenguajes C y PERL. Si el cliente realiza una petición al servidor para que le envíe una página Web, el servidor ejecuta el intérprete de PHP. El intérprete procesa el “script” solicitado, que generará el contenido de una forma dinámica. El resultado es enviado por el intérprete al servidor quien, a su vez, se lo envía al cliente.

Las páginas de PHP son en realidad páginas HTML o XHTML en las que se han incluido partes de código que debe ser procesado por el módulo de PHP en el servidor (Charte, 2005). El módulo examina el contenido del archivo que le entrega el servidor, buscando la marca **<?php** para la identificación de los bloques que habrá de ejecutar. Dicha marca será acompañada por la **?<** que expresará el punto final de la sección del código.



A diferencia de otros lenguajes de programación, PHP distingue entre mayúsculas y minúsculas cuando el identificador corresponde a una variable, pero no realiza esa distinción en el resto de los casos, por ejemplo, en los nombres de funciones. Sin embargo, y como en muchos otros lenguajes, el carácter que indica el final de cada sentencia es el punto y coma, de ahí que sea posible componer varias sentencias en una misma línea o repartir entre varias líneas una única sentencia. Las variables se diferencian de otros elementos del lenguaje por ir precedidas del carácter \$, pudiendo contener cadenas de caracteres, valores booleanos, referencias a objetos, etc. PHP apenas comprueba los tipos, por lo que en él es posible asignar una cadena a una variable que contenga un número o usar el valor de una variable en una expresión de otro tipo. No hay ninguna instrucción que declare variables. Las cadenas de caracteres se delimitan mediante comillas simples o dobles, aunque, en ciertas ocasiones, su uso no es equivalente.

Las estructuras fundamentales son los condicionales, que emplean la partícula **if**, los bucles, asociados a las instrucciones **while**, **do** y **for**, y numerosas funciones predefinidas. Las sentencias a ejecutar por una función han de estar delimitadas entre llaves. Las numerosas funciones que existen en PHP se agrupan en decenas de categorías que, a veces, determinan el prefijo utilizado en los identificadores. Por ejemplo, las relativas a bases de datos, llevan el prefijo **dba** y las que sirven para trabajar con matrices emplean el prefijo **array**. Una completa referencia a todas las funciones de PHP puede encontrarse en <http://www.php.net/manual/en/funcref.php>.

La versión 5.0 de PHP, que es la que hemos usado para el diseño y elaboración de PSICO-A, apareció en 2004, incorporando como nueva versión del motor de lenguaje, el *Zend Engine 2*. Incluye como novedades frente a versiones anteriores, la gestión de excepciones, la integración de una serie de extensiones y, sobre todo, la orientación a objetos. Mediante la técnica de orientación a objetos en programación, se persigue la creación de entidades originadas a partir de un molde, capaz de producir objetos idénticos pero que se mantienen en estados distintos. Dicho molde se define como una *clase*. En una *clase* se detalla toda la funcionalidad que poseen los objetos creados a

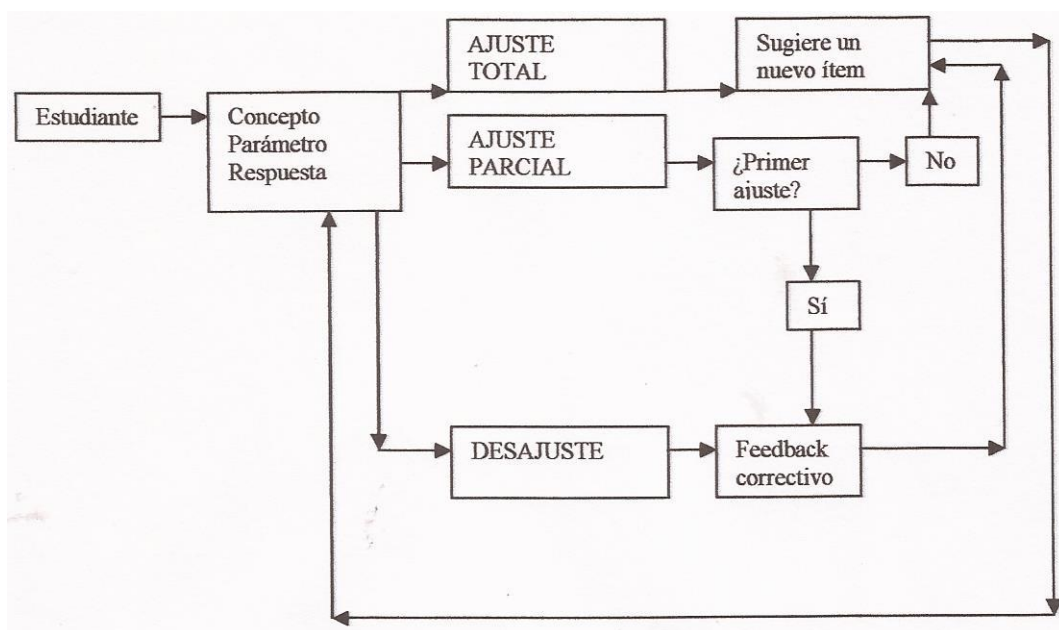
partir de ella, mediante propiedades y funciones. Las propiedades son variables internas, cuyo nombre se define en la clase.

#### **4. FUNDAMENTOS DEL USO DEL “FEEDBACK” EN PSICO-A**

La aplicación de “feedback” al aprendizaje se ha demostrado esencial en innumerables ocasiones. No obstante, el tipo de “feedback” aportado es decisivo. A grandes rasgos, las clases de “feedback” más empleadas son las siguientes: (a) el “feedback” mínimo, que consiste simplemente en indicar al estudiante que su respuesta ha sido correcta o incorrecta; (b) el “feedback” correctivo estándar, el cual aporta la respuesta correcta después de un error; (c) el “feedback” basado en una elección múltiple de respuesta y (d) el “feedback” autogenerado. Se ha demostrado que el “feedback” mínimo es muy ineficaz para el aprendizaje y la corrección de errores. Ya Hancock, Stock y Kulhavy (1992) demostraron que los sujetos destinaban más tiempo a procesar un “feedback” que contenía la respuesta correcta o “feedback” correctivo estándar que al procesamiento del “feedback” de tipo (a). Más recientemente, Pashler, Cepeda, Wixted y Rohrer (2005) han mostrado que un procesamiento efectivo y, por lo tanto, un mayor incremento en la retención, no se consigue si la respuesta correcta no es transmitida al alumno.

El “feedback” correctivo parece funcionar bien para solventar errores de omisión y de comisión (Metcalf y Kornell, 2007) y errores basados en la sobreconfianza (Butterfield y Metcalfe, 2001). Pero no deja de ser una presentación pasiva de la respuesta. Un “feedback” activo o autogenerado es más efectivo, como prueban los más recientes estudios experimentales (Finn y Metcalfe, 2010). Una versión de este tipo de “feedback” es el procedimiento de elección múltiple de respuestas (Pressey, 1926) o de selección de respuesta hasta alcanzar la respuesta correcta (Butler y Roediger, 2007). No obstante, este tipo de procedimiento también presenta desventajas. Por ejemplo, la selección de la respuesta correcta puede deberse a la familiaridad y no a un mecanismo que implique la intervención de las estructuras profundas de

procesamiento de la memoria. Por otro lado, y en el caso de los test de elección múltiple, la presentación simultánea de información correcta e incorrecta produce efectos de interferencia (Barnes y Underwood, 1959). Siguiendo la estela del paradigma de autogeneración de la respuesta y, en concreto, del “efecto de generación” (Slamecka y Graf, 1978), nosotros optamos en el diseño del “feedback” para PSICO-A por un recurso que creemos bastante efectivo. Si el alumno no sabe la respuesta, recibe una pregunta reformulada, antes de recibir el “feedback” correctivo estándar o “feedback” positivo en el propio Modo de Reflexión; es decir, se brinda al estudiante la posibilidad de autogenerar su respuesta a partir del uso de unos conceptos básicos. En PSICO-A, tanto el Modo de Juego como el de Simulación parecen aportar un poderoso “feedback” al sujeto, tal y como se comprobará en la evaluación interna del sistema. Obsérvese que disponemos de aplicación inmediata y diferida del “feedback”. Inmediata, a través de la valoración ofrecida por el Módulo de Reflexión y luego recogida en el Modo de Evaluación. Diferida, a través de las animaciones presentadas en el Modo de Juego y en el de Simulación, y de las actividades contenidas en ambos. Como es bien conocido, la efectividad de la aplicación inmediata del “feedback” ha sido siempre puesta de manifiesto por los autores de la tradición conductista (Pressey, 1950). La rápida administración del “feedback” contribuiría a la consolidación de la respuesta correcta. Metcalfe, Kornell y Finn (2009) han evidenciado recientemente que la administración diferida o retardada de “feedback” es más efectiva que la administración inmediata, en caso de que la distancia temporal de aplicación entre el test inicial y el final sea variable. En el caso de PSICO-A, la distancia temporal entre las animaciones y las actividades propuestas a continuación, depende del propio ritmo seguido por el alumno. Computacionalmente, hemos creado una serie de algoritmos de programación que, tanto en el Modo de Juego, el Modo de Reflexión y el Modo de Simulación, se basan en el ajuste total, parcial o desajuste de las respuestas correctas con respecto a las introducidas por el sujeto. Véase en la siguiente ilustración su estructura esquemática, junto a la aplicación del oportuno “feedback”:



**Figura 59** - Estructura de los “algoritmos de ajuste” en PSICO-A.

## 5. DISEÑO DEL MÓDULO METACOGNITIVO EN PSICO-A

El Módulo Metacognitivo de PSICO-A se articula en torno a una ventana de Juicios de Confianza y un Área de Juicios Metacognitivos. Una vez recopilados los conocimientos previos del alumno acerca del tema (tarea que sirve al profesor para hacerse una idea de la efectividad real del Sistema en el aprendizaje de la Unidad Didáctica seleccionada y, en su caso, descartarla para cualquier diseño experimental que incluya alumnos con unos conocimientos previos muy asimétricos), y estudiados los contenidos de la Unidad Didáctica, el sujeto introducirá un porcentaje que calibre su creencia sobre el dominio de lo estudiado. El número quedará grabado y será juzgado por el profesor en función del rendimiento global del alumno al terminar su tarea.

El Área de Juicios Metacognitivos incluye diez juicios inspirados en el CEMGM de Mayor, Suengas y González Marqués (1993) y que aparecen

formulados en el Anexo 2 de esta Tesis. Todos estos juicios incluyen una elección múltiple de respuesta de cuatro ítems. El primer juicio sirve para separar ya, de partida, a los alumnos que poseen un estilo cognitivo basado en palabras (lingüístico), imágenes (corroborando o no el uso de modelos de imaginería mental, al estilo de la propuesta de Black, 2007) o ideas (conceptos-Nowak y Gowin, 1984-) de aquellos alumnos sin estilo cognitivo alguno.

## **CAPÍTULO 5. SIMULACIONES Y JUEGOS DIGITALES EN LA ENSEÑANZA**

Las simulaciones computacionales pueden definirse como modelos computacionales de fenómenos que reaccionan a cambios en los valores de unas variables de entrada, mostrando los valores resultantes de las variables de salida (de Jong y van Joolingen, 2004). Las simulaciones buscan modelar entornos con un cierto grado de realismo y reflejar la interacción causal entre los elementos del sistema a ser simulado. De esta manera, los usuarios pueden explorar las implicaciones de manipular una serie de parámetros en ellas que, de otra manera, serían difícilmente accesibles o simplemente invisibles. En realidad, las primeras simulaciones se correspondían, a mediados del siglo pasado, con simuladores de vuelo para el entrenamiento de pilotos. Posteriormente, han ido ocupando un lugar preeminente en programas computacionales de aprendizaje como, por ejemplo, “Thinker Tools” de White (1995).

Siguiendo el análisis de Clark, Nelson, Sengupta y D’Angelo (2009), en las simulaciones educativas importan los siguientes factores: (a) el grado de control que tenga el usuario; (b) la naturaleza del entorno en el que las simulaciones se insertan; (c) la representación de la información y (d) la naturaleza de lo que va a ser modelado. Respecto al primer factor, como es obvio, puede darse tanto el control de unas pocas variables especificadas como incluso la reprogramación de las reglas básicas que subyazcan a la simulación. En PSICO-A las simulaciones propuestas son de naturaleza muy simple y conllevan un grado reducido de control por parte del estudiante. Por ejemplo, en una de ellas, el alumno simplemente habrá de controlar el recorrido de MOUSI por un corredor a velocidades distintas para alcanzar la meta (en el Anexo 1, encontrará el lector una descripción exhaustiva de nuestra Simulación de prueba). En realidad, se trata de simulaciones simbólicas, tal y como estipula Gredler (2004). En este tipo de simulaciones, el estudiante actúa como un investigador que ha de verificar su modelo conceptual de las relaciones existentes entre las variables del sistema. Acabamos de mencionar una palabra fundamental: “modelo”. La interacción con simulaciones simbólicas exige desarrollar y revisar modelos mentales de situaciones complejas. A grandes rasgos, puede decirse que los modelos mentales ( Craik, 1943) son réplicas

mentales de los fenómenos, que manipulamos y que nos permiten entender el funcionamiento de nuestro entorno. Son entidades finitas y computables (Johnson-Laird, 1983) que nos facilitan comprender los fenómenos, realizar predicciones, experimentar eventos y tomar decisiones. No hay que identificar modelos mentales con imágenes o representaciones. Los modelos mentales son dinámicos y mantienen una estructura relacional similar a los procesos modelados ( Craik, 1943). De ahí su valor explicativo.

¿Cómo una simulación se relaciona con un modelo mental? Al interactuar con la simulación, el sujeto manipula “en vivo” diferentes parámetros e interactúa con una réplica del sistema modelado, lo cual es muy semejante al proceso consistente en la formación de modelos mentales de sistemas físicos (Collins y Gentner, 1983). El modelo mental integra, por un lado, las reglas del sistema y, por otro, los resultados de la simulación a partir de la manipulación de los distintos parámetros de control. Así pues, y de una manera interactiva, la simulación permite formar un modelo mental y aumenta la capacidad de comprensión del fenómeno. Una vez que el modelo mental ha sido desarrollado, el sujeto dispone de una interpretación del sistema. Evidentemente, será un modelo más simple que el sistema real, lo cual no oscurece su valor explicativo. Al optar por el diseño de simulaciones simples para PSICO-A, nos hacemos eco de la estrategia, denominada por Nowak (2004), *minimalismo dinámico*. Consiste en construir el modelo más simple posible que contenga las que creamos que son las reglas más básicas que conecten los elementos del sistema y que reproduzcan su dinámica. Demasiada complejidad puede dificultar el aislamiento del modelo del fenómeno dado.

Los juegos digitales son más difíciles de definir, dada su gran diversidad y su carácter más ambiguo. Sin embargo, una definición bastante convincente procede de Sánchez y Aranda (2009, p. 25) y está basada en Juul (2003, p. 123): “los juegos digitales son sistemas basados en reglas, con unos objetivos a conseguir, que implican el esfuerzo y la vinculación emocional de los jugadores y que se llevan a la práctica a través de un software informático en diversas plataformas.” En realidad, los aspectos decisivos de todo juego-sea



digital o no-, hay que encontrarlos en la existencia de reglas, de recompensas y en la interactividad subyacente. Los juegos digitales difieren de las simulaciones en que miden el progreso del jugador en su consecución de las metas mientras que en las simulaciones se trata más bien de una cuestión de objetivo cumplido o no. Además, los juegos permiten desarrollar estrategias que influyeran en su propio estado; en las simulaciones, en cambio, se trata de ajustar convenientemente unos parámetros y no hay ni táctica ni estrategia.

Hay muchos tipos de juegos. Whitton (2010) distingue, a grandes rasgos, entre juegos de aventuras, juegos deportivos, juegos de plataforma (cuyo paradigma son los pioneros juegos de ARCADE), juegos de tipo puzzle o de resolución de problemas, juegos de “role play”, juegos de tiro y juegos de estrategia. En PSICO-A, dado que el Modo de Juego es un complemento a un sistema más amplio de aprendizaje, empleamos juegos de plataforma combinados con juegos de tipo puzzle o “quiz games”. No nos interesa en este caso tanto la coordinación perceptiva del jugador como que le sirva de ayuda para su mejor aprendizaje del tema. Y así, y siguiendo con el ejemplo de nuestro agente virtual, MOUSI se lanzará a la obtención de comida recorriendo un laberinto con trampas móviles que intentarán impedir su objetivo. Cada vez que MOUSI pasa de nivel (hay tres niveles), el sujeto ha de resolver un ejercicio múltiple de tipo “quiz” (consistente en unir conceptos mediante flechas, solventar un ejercicio de compleción de nociones y resolver una actividad en la que hay que rellenar tres parámetros correspondientes a la velocidad alcanzada por MOUSI). El famoso experimento de Crespi (1942) sobre la influencia del incentivo en la fuerza de la respuesta en ratas, sirve de base teórica al juego.

¿Qué se pretende con implementar en PSICO-A un juego digital y una simulación? Algo no realizado hasta ahora en el contexto de un sistema computacional integrado de enseñanza: comparar cómo se refleja el aprendizaje de una Unidad Didáctica en la puntuación obtenida por un grupo experimental con acceso restringido a la Simulación, con el reflejo del aprendizaje en la puntuación lograda por otro grupo experimental con acceso

circunscrito al Juego. Pero, ¿cuáles son los principios de aprendizaje promovidos tanto por simulaciones como por juegos digitales?

## 1. PRINCIPIOS DE APRENDIZAJE EN SIMULACIONES

Parece existir evidencia de que las simulaciones computacionales mejoran el aprendizaje conceptual. Por ejemplo, Sengupta y Wilensky (2008) comprobaron que cerca del noventa por ciento de 40 estudiantes repartidos en dos clases de quinto y séptimo grado de Ciencias, exhibieron un razonamiento correcto acerca del comportamiento de los electrones, usando una versión revisada de *NIELS (NetLogo Investigations in Electromagnetism)*. Linn et al. (2009) señalan que las simulaciones mejoran el aprendizaje siempre y cuando no demanden una excesiva carga cognitiva a los estudiantes que los distraiga de su tarea esencial y cuando apelen a conocimientos ya adquiridos.

Un verdadero currículo basado en simulaciones es el ya citado “Thinker Tools” (White y Frederiksen, 1998). En el currículo, los estudiantes plantean una cuestión relativa a las leyes del movimiento de Newton y generan hipótesis y predicciones en torno a la misma. Diseñan experimentos simulados basados en actividades cotidianas y analizan los datos resultantes. El currículum fue aplicado a 12 aulas de niños norteamericanos de séptimo, octavo y noveno grado (343 niños) durante más de 10 semanas. Los test mostraron ganancias conceptuales en todos los estudiantes a los que se les aplicó. Otro ejemplo más es BioLogica (Buckley, Gobert y Horwitz, 2006), un sistema que conecta simulaciones a textos en el campo de la Genética. Manipulando el modelo de un genoma, se corroboraron ganancias conceptuales significativas en el post-test administrado.

Un aspecto del que no se puede dudar es del gran valor motivacional de las simulaciones. Sirva de ejemplo el currículo *WorldWatcher*, diseñado por Edelson, Gordin y Pea (1999) y basado en simulaciones acerca del calentamiento global. Los autores comprobaron el gran debate que generó el

sistema y la gran familiaridad con la que se desarrollaron los alumnos en su uso.

## **2. PRINCIPIOS DE APRENDIZAJE EN JUEGOS DIGITALES**

El estudioso que mayor atención ha prestado a este aspecto es, indudablemente, Gee (2007). Distingue hasta 36 principios de aprendizaje que pueden derivarse de la interacción con juegos digitales. De esos principios, destacamos los que consideramos más importantes:

- (1) Aprendizaje activo: los juegos han de favorecer un aprendizaje crítico y no pasivo.
- (2) Principio semiótico: han de facilitar las interrelaciones entre múltiples sistemas simbólicos (imágenes, palabras, acciones, artefactos, etc.)
- (3) Principio de identidad: el estudiante puede desarrollar una identidad virtual que maneja en el juego. Por eso, decimos que PSICO-A es un sistema basado en agentes (en este caso, en el agente virtual MOUSI).
- (4) Principio de logro: el juego plantea recompensas intrínsecas aparte del propio aprendizaje.
- (5) Principio del incremento: las situaciones de aprendizaje se presentan ordenadas de menor dificultad a mayor dificultad.
- (6) Principio de demanda de información ajustada en el tiempo: el sujeto recibe información explícita en el momento oportuno para desarrollar la actividad que se presenta.
- (7) Principio de descubrimiento: el juego permite que el estudiante tenga oportunidad para experimentar y realizar descubrimientos.

Prensky (2007) explicita cinco niveles de aprendizaje en los videojuegos y juegos digitales: primero, la interacción con el sistema, segundo, el

conocimiento de las reglas del juego, tercero, el desarrollo de estrategias para lograr los objetivos, cuarto, la comprensión del contexto del juego y, finalmente, la toma de decisiones fundamentada en el sistema de puntuación impuesto por el propio juego. Gagné, Briggs y Wager (1992) creen que existen cinco grandes categorías de aprendizaje promovidas por este tipo de juegos: (a) intelectual, que incluye conceptos, reglas y relaciones que permiten la discriminación conceptual (valga por caso la resolución de problemas matemáticos); (b) estratégico cognitivo (como desarrollar el modelo mental de un problema); (c) informativo verbal (recordar nombres de objetos); (d) de tipo motor (como la coordinación entre vista y movimiento manual) y (e) actitudinal (creencias y sentimientos).

### **3. MEDIDA DE LA EFECTIVIDAD DEL APRENDIZAJE EN SIMULACIONES Y JUEGOS**

En los diseños experimentales que buscan medir la efectividad en el aprendizaje de simulaciones y de juegos educativos computacionales, suele administrarse un test previo a la interacción (o pre-test) y, después de la intervención, se administra un segundo test equivalente (o post-test). Las diferencias alcanzadas en la puntuación pueden indicar que la intervención ha incrementado el rendimiento. No obstante, hay que tener cuidado porque una serie de problemas potenciales pueden presentarse. Entre ellos, el más importante es que hay que asegurar que los test presenten el mismo grado de dificultad y que evalúen los mismos aspectos del aprendizaje que los elementos introducidos en el juego. Nosotros nos aseguramos de que así sucede en PSICO-A ya que en nuestro diseño prevalecen los cuatro principios de evaluación de juegos propuestos por Scalise y Wilson (2012): (1) una perspectiva evolutiva del aprendizaje del alumno que hace que este ingrese en el Modo de Juego o en el de Simulación, una vez evaluado su aprendizaje a través de la construcción de un Mapa Conceptual y de haber respondido a las preguntas de un Modo de Reflexión; (2) una buena conexión entre el diseño del

Modo de Juego y de Simulación y el material a ser aprendido (de hecho, nuestro diseño es extremadamente fiel en sus parámetros al clásico experimento de Crespi (1942), básico para comprender la teoría de la reducción del impulso de Hull; combina acumulación de puntos y resolución de actividades teóricas que permiten el acceso a diferentes niveles de dificultad); (3) una evaluación válida y confiable que se consigue incluyendo sistemas automáticos de puntuación, algo que nosotros realizamos no solo en el Juego y en la Simulación sino en todo el Sistema en general (y así PSICO-A mide también automáticamente los resultados metacognitivos y de libre recuerdo de los sujetos) y (4) la invitación a los alumnos a reflexionar sobre sus propias acciones intercalando actividades en los diversos niveles del Juego y de la Simulación.

¿Cuándo se ha de administrar el post-test? Existe consenso en que cuanto más tiempo se tarde en aplicarlo, más robusta será la comprobación de los efectos del aprendizaje. Pero, obviamente, hay limitaciones tales como el número de alumnos implicados o el tiempo que reste para completar el programa del curso. En cualquier caso, siempre habrá de concederse un tiempo prudencial después de terminada la experiencia de aprendizaje en PSICO-A.

#### **4. EFECTOS NEUROLÓGICOS DE LOS JUEGOS DIGITALES**

Recientemente, Haier et al. (2009) han demostrado la existencia de cambios en la densidad de la corteza cerebral después de una serie de sesiones jugando al TETRIS. Veintiséis mujeres practicaron este juego durante un promedio de hora y media diaria a lo largo de tres meses. Imágenes estructurales obtenidas antes y después de la práctica, revelaron en el grupo experimental un incremento de la densidad cortical en el área 6 frontal de Brodmann y en las áreas temporales 22 y 38.

Colom et al. (2012) han demostrado que el entrenamiento cognitivo con videojuegos genera cambios significativos en la materia gris de los sujetos.

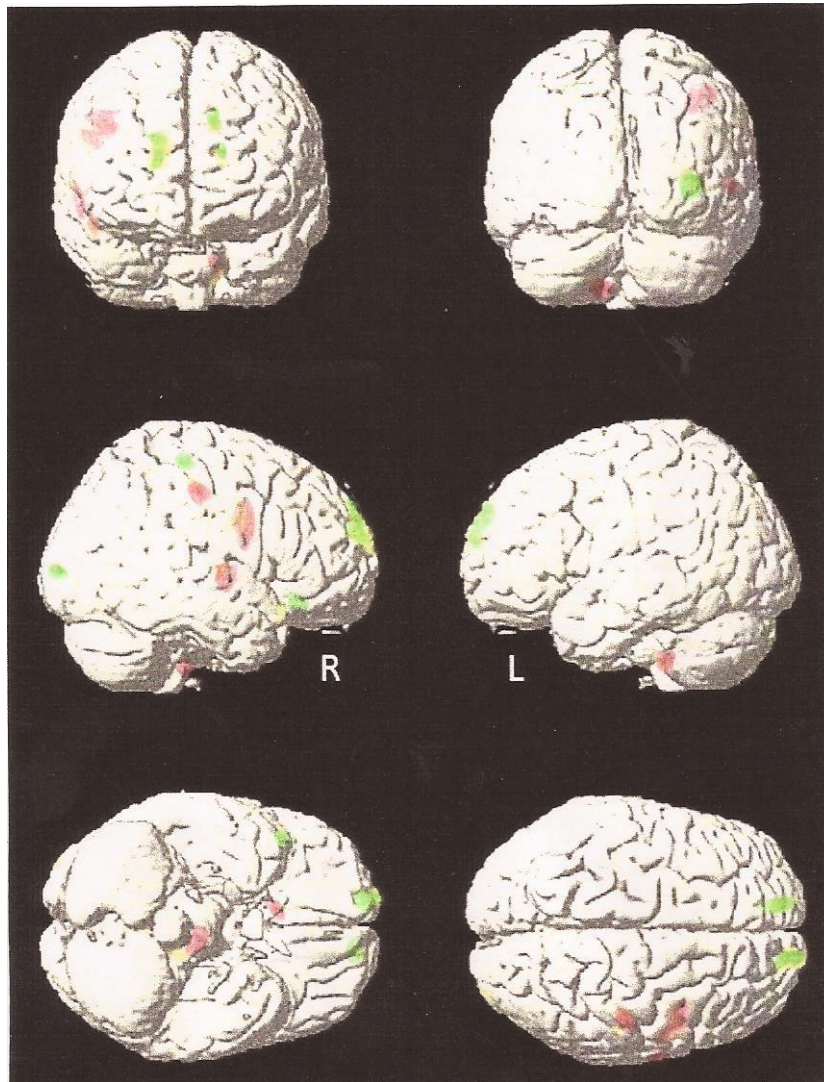
Veinte muchachas fueron seleccionadas para jugar el videojuego de Nintendo, “Profesor Layton y la caja de Pandora”. Este videojuego contiene puzzles y acertijos, tal y como sucede en PSICO-A. Por ejemplo, véase el siguiente laberinto:



**Figura 60** - Uno de los puzzles de “Profesor Layton”.

Las participantes en el experimento jugaron cuatro horas a la semana durante cuatro semanas y su cerebro fue escaneado en la primera semana. En la sexta semana fueron de nuevo sometidas a escáner y completaron un conjunto de test de habilidades cognitivas. Previamente se las había instruido para que no alteraran su vida cotidiana y para que evitaran jugar a cualquier otro tipo de juego.

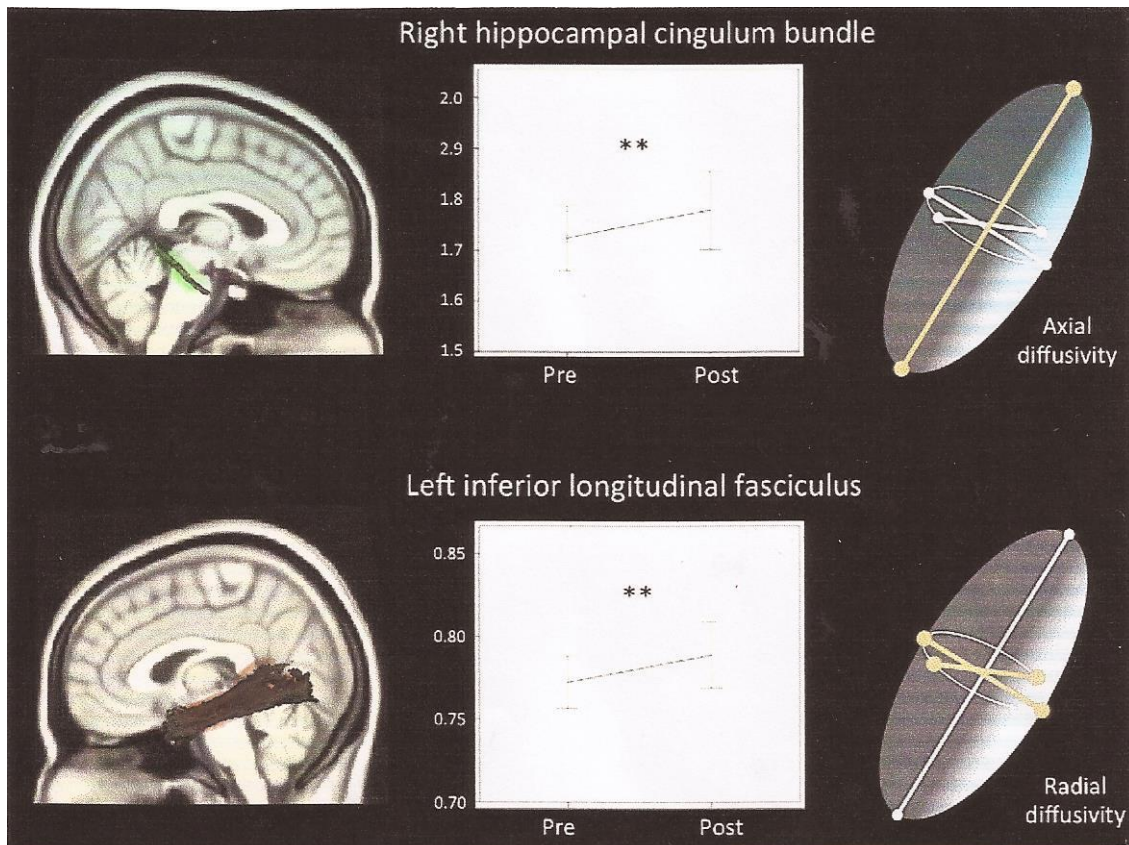
El análisis morfométrico reveló cambios, tanto positivos como negativos, en la densidad de la materia gris. Mientras que los incrementos se concentraron en el hemisferio derecho, las disminuciones se localizaron en el hemisferio izquierdo. De manera interesante, se observó un aumento en la densidad de la corteza verificado por Haier et al. (2009) en las zonas 6 y 22/38 de Brodmann. También fueron encontrados cambios significativos en las áreas 9 y 10 de Brodmann, zonas implicadas en procesos como la atención, la memoria operativa y las funciones ejecutivas. En la siguiente imagen pueden apreciarse estos cambios (los cambios positivos en la sustancia gris aparecen en rojo y los negativos en verde; “R” designa hemisferio derecho y “L”, hemisferio izquierdo):



**Figura 61** - Cambios en la sustancia gris (Colom, et al. 2012, p. 7).

El análisis mediante tractografía, permitió detectar algunos cambios en la sustancia blanca del cerebro de las participantes en el grupo experimental. La difusividad axial se incrementó en el cíngulo de la parte derecha del hipocampo, lo que podría suponer una alteración del diámetro de los axones. La difusividad radial aumentó en el fascículo longitudinal inferior izquierdo, lo cual podría interpretarse en términos de pérdida de mielina. Todo esto puede apreciarse mejor en la siguiente imagen del estudio:





**Figura 62** - Cambios en la materia blanca (Colom, et al. 2012, p. 8).

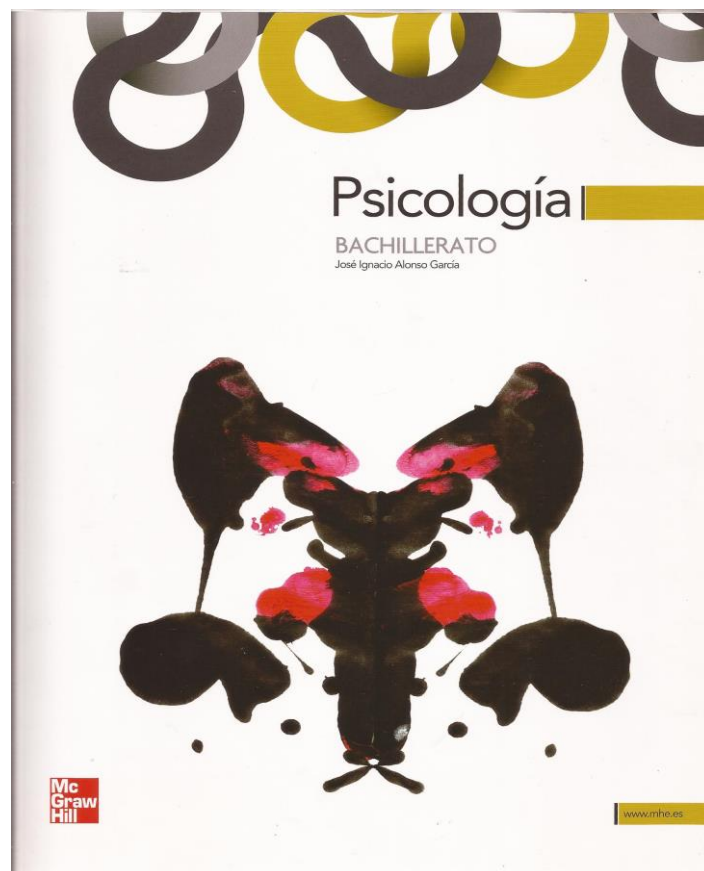
No obstante, y como los propios autores señalan, estos resultados deben ser interpretados de forma precavida, quedando a la espera de futura investigación. Más interesante es la ausencia de una correlación entre la práctica con videojuegos y el aumento significativo de la inteligencia medida. Tanto el grupo experimental como el control se sometieron a un pre-test y a un post-test que midió un índice de inteligencia general, y los resultados mostraron una ganancia promedio de 3,4 y de 3,3 puntos de cociente intelectual en el grupo control y en el experimental, respectivamente. La conclusión es que resolver problemas de complejidad creciente usando un videojuego o juego digital, no produce un impacto sobre las puntuaciones obtenidas en un test de inteligencia, incluso aunque se detecten cambios volumétricos en el cerebro relacionados con la práctica del juego. Esto puede interpretarse de distintas maneras. Quizá los cambios cerebrales se hayan detectado en algunas pero no en todas las zonas relevantes para el desarrollo de la inteligencia. También el reducido tamaño de la muestra ha podido suponer un importante contratiempo.



Pero también hay que reconocer que las señales biológicas no siempre van acompañadas de cambios conductuales.

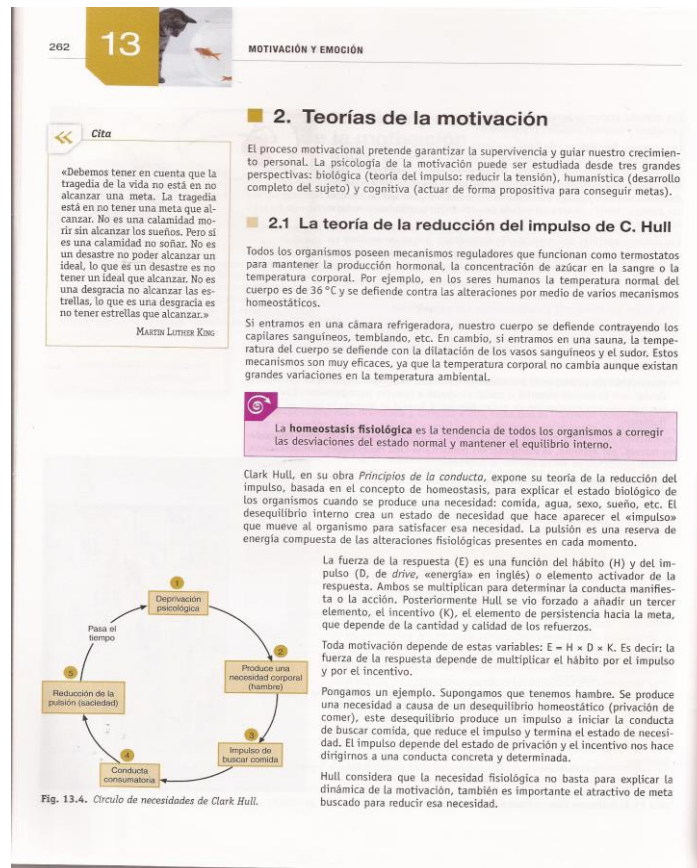
## **CAPÍTULO 6. ELABORACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA PARA PSICO-A**

Nuestro Sistema para la enseñanza de la Psicología ha sido ensayado con tres grupos de alumnos de Segundo de Bachillerato que han cursado, durante el año académico 2013-2014, dicha materia en el IES “Francisco Giner de los Ríos” de Alcobendas-dos grupos-,y en el IES “Juan de Mairena” de San Sebastián de los Reyes-el otro grupo-. Los alumnos han usado como libro de texto “Psicología. Bachillerato”, cuyo autor es José Ignacio Alonso García y que está publicado por la editorial McGraw-Hill. La edición que hemos manejado es la más reciente, que corresponde al año 2012. Véase la portada del libro:



**Figura 63** - Portada del libro de texto.

Como Unidad Didáctica hemos seleccionado la Unidad 13, titulada “Motivación y emoción” y, en concreto, el apartado temático “2.1 La teoría de la reducción del impulso de C. Hull” (Alonso, 2012, p. 262). En la siguiente imagen el lector podrá apreciar el contenido del apartado temático, tal y como aparece en el libro de texto:



**Figura 64** - Contenido del apartado temático escogido (Alonso, 2012, p. 262).

Hemos escogido este apartado para ilustrar el funcionamiento de PSICO-A y para preparar nuestro experimento porque, en primer lugar, nos parece que teóricamente está muy bien definido y es fácilmente asimilable por la mente del alumno. Están perfectamente operativizados sus contenidos y no hay lugar a dudas o a interpretaciones. No hay hueco ni para las vaguedades ni para las nociones difusas, por lo que su comprensión no plantea dificultades intrínsecas. En segundo lugar, porque nos permite diseñar una animación para el Modo de Juego y para el Modo de Simulación que se ajusta como un auténtico guante a sus contenidos. Como ya se ha mencionado, el Anexo 1 de esta Tesis recogerá la exposición del diseño del Juego y de la Simulación, pero aquí vamos a justificarlo a partir de un experimento de Crespi (1942) que fue decisivo en la reformulación por parte de Hull de su teoría de la reducción del impulso. Dicha reformulación incluía el concepto de incentivo (K) (Hull, 1952).

Clark Leonard Hull nació en Akron (Nueva York) en 1884. Su educación se vio perturbada por su frágil salud (contrajo la poliomielitis a la edad de 24 años) y por las dificultades económicas vividas en su hogar. No obstante, pudo graduarse en Psicología en la Universidad de Michigan y obtuvo el doctorado en la Universidad de Wisconsin en 1918. Permaneció algo más de una década dando clases en esta Universidad, hasta que se trasladó a la Universidad de Yale, lugar en el que se retiró, falleciendo en New Haven en 1952. Sus grandes obras son *Principles of behavior* (1943), *Essentials of behavior* (1951) y *A behavior system* (1952).

Hull es uno de los grandes autores neoconductistas del siglo XX. Como tantos autores de su generación, se sintió impresionado por la lectura de la versión inglesa de la obra de Pavlov, *Conditioned reflexes*, que le llevó a un estudio mecanicista de la Psicología, aunque con matices y dejando la puerta abierta a la inclusión de conceptos mentalistas como los de intencionalidad o comprensión. Su intento de realizar una aplicación estricta y rigurosa del método hipotético-deductivo a la Psicología, ha generado tanto reacciones de alabanza como de crítica. Hull llegó a escribir que “Psychologist must not only develop a thorough understanding of mathematics, they must think in mathematics” (Schultz y Schultz, 1987, p. 239). Hull quería una Psicología que se desarrollase mediante la comprobación experimental de teoremas (Hull, 1935), una especie de *Principia* newtonianos aplicados a la ciencia de la conducta. Él pensaba que era un objetivo primordial el desarrollo de una teoría del reforzamiento y que el experimento de Pavlov había de ser considerado como un caso especial de la ley del efecto de Thorndike (Hilgard y Bower, 1973). Se trataría de especificar un estado de reforzamiento primario, bien a través de la reducción de la pulsión-como en la necesidad de satisfacción-, bien en la reducción del estímulo-pulsión, como en la satisfacción de un deseo más que de una necesidad. En un principio, Hull mantuvo la teoría de la reducción de la pulsión. Posteriormente, y bajo la influencia de Miller y Dollard (1941), abandonó la reducción de la pulsión como interpretación del reforzamiento.

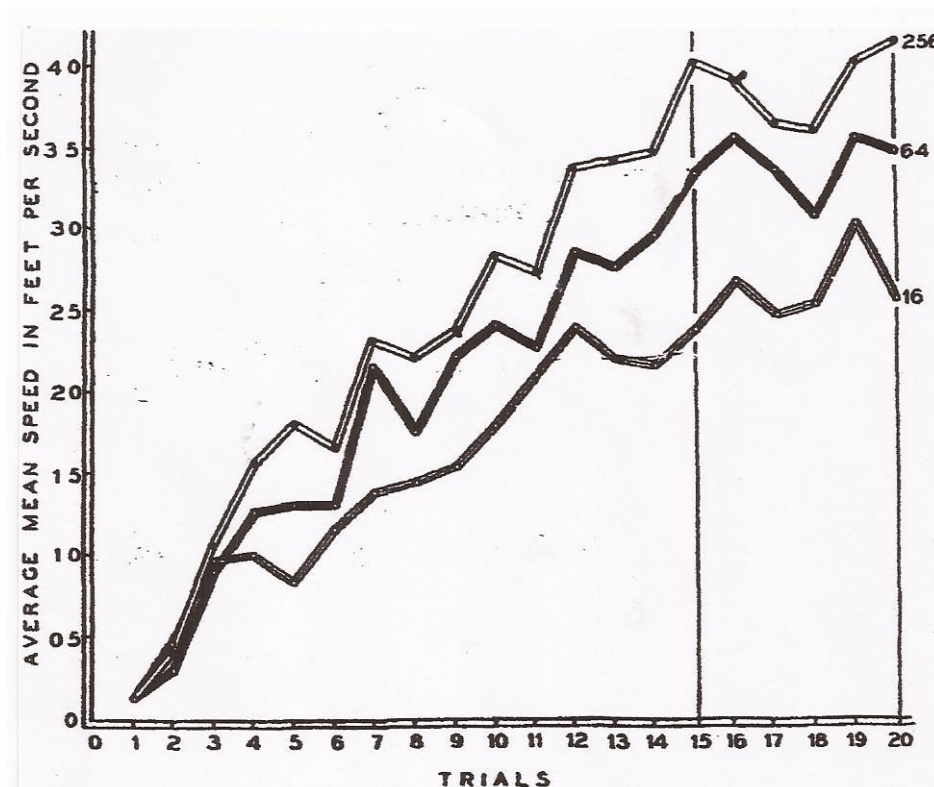
Para Hull el aprendizaje depende de la contigüidad de los estímulos y la respuesta, elementos que están asociados al reforzamiento. Obsérvese que se

trata de una nueva formulación de la ley del efecto de Thorndike, con la recompensa entendida como reducción de la necesidad (Hilgard y Bower, 1973). Cuando se produce una importante reducción de la necesidad, la demora entre la respuesta y el reforzamiento es escasa y existe poca separación entre el estímulo condicionado y la respuesta a adquirir, por lo que el límite superior del aprendizaje tiende a un máximo. El curso del aprendizaje se basa, pues, en la asunción de que el aumento de la fuerza del hábito en cada reforzamiento resulta ser una fracción constante de la cantidad que queda por aprender, desembocando en una típica curva de ganancias decrecientes (Hilgard y Bower). Pero sin pulsión no podría haber reforzamiento ni siquiera respuesta, dado que aquélla convierte la fuerza del hábito en potencial de reacción. Ni siquiera podrían regularse los hábitos de acuerdo con el estado de necesidad del organismo; es decir, no habría distintividad en el aprendizaje (no se aprendería, por ejemplo, a qué lugar acudir cuando se tiene hambre y a qué otro lugar acudir cuando se tiene sed). Así pues, la primera ecuación que va a compendiar la teoría de la reducción del impulso de Hull, establecerá que la fuerza de la respuesta (E) será una función del producto del hábito (H) y del impulso (D) o elemento activador de la respuesta:  $E=HxD$  (Hull, 1943, p. 242). Pero los resultados de estudios acerca del aprendizaje latente y de cambios en el incentivo, en los que se confirmaban abruptos cambios en la respuesta a partir del incremento o disminución de la recompensa, llevaron a Hull (1952) a postular el constructo del incentivo (K), reformulando su primera ecuación como  $E=HxDxK$ . De esta forma, su teoría podía ahora explicar cómo un impulso muy pequeño o una recompensa muy escasa podían interferir en el aprendizaje por una rata del camino correcto de un laberinto. En este sentido, el experimento de Crespi (1942) fue decisivo en la reformulación realizada por Hull. Dada su importancia y que es tomado como referencia por la animación en la que se basan el Modo de Juego y el Modo de Simulación de PSICO-A, vamos a detenernos en su análisis<sup>34</sup>.

---

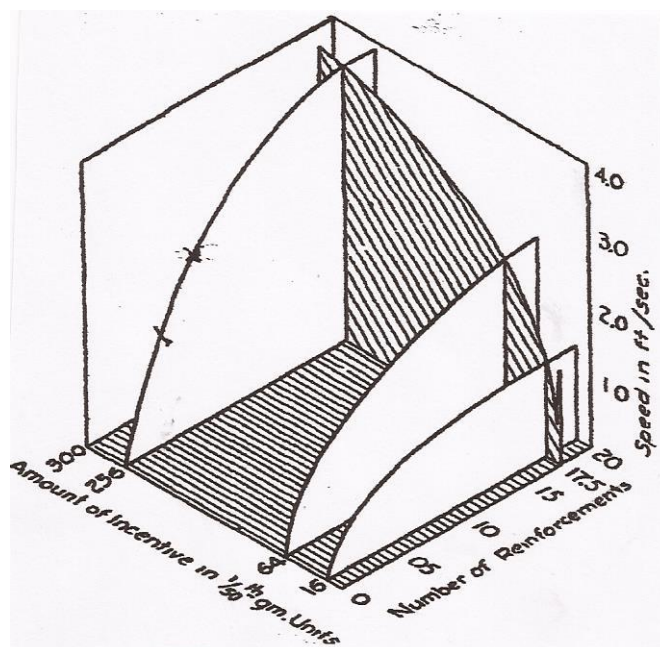
34 En el Anexo 1 realizaremos una exhaustiva descripción de cómo adaptamos los parámetros del experimento de Crespi al diseño del Juego y de la Simulación.

Crespi (1942) utilizó varios grupos de ratas, igualando el impulso y alimentándolas individualmente, proporcionándoles diferentes cantidades de incentivo a lo largo de un corredor de una longitud de 125 cm. Cada rata sufría una privación de comida de 22 horas de duración y solo se realizaba un ensayo diario. Las cantidades de incentivo de comida que recibían los distintos grupos variaban de una unidad (1/50 de gramo de bolitas de Purina) a 256 unidades (5 gramos). La variación en términos de la dieta de mantenimiento se situaba en torno al 70% de su rango apetitivo. Hull llamó “efecto Crespi” al hecho de que cuando el incentivo cambia durante el aprendizaje particular, la fuerza de la respuesta (o latencia) va acercándose a la asíntota de una manera progresiva. Las curvas que obtiene Crespi mostrando los efectos generados por las alteraciones en la cantidad de incentivo, nos enseñan que el cambio en la respuesta es un proceso asintótico bastante rápido que requiere de apenas 4 ensayos para su compleción:



**Figura 65** - Relación entre el número de refuerzos y el nivel de ejecución para diferentes cantidades de incentivo (Crespi, 1942, p. 488).

La visión tridimensional que relaciona el nivel de ejecución con la cantidad de incentivo y el número de refuerzos, puede ayudarnos a representarnos mejor la curva de aprendizaje de Crespi:



**Figura 66** - Efecto de la cantidad del incentivo y del número de refuerzos (Crespi, 1942, p. 489).

La fuerza de la respuesta dependerá de un impulso consistente en una privación de 22 horas, un hábito medido a través de un número de ensayos (0, 3, 9, 16, 19 y 20) y un incentivo que irá desde 0 unidades hasta 256 unidades de comida (0, 16, 64 y 256). En un corredor de una longitud de 125 cm., la medida de la velocidad irá desde 0 cm./sg. hasta 125 cm./sg. (0, 30, 45, 60, 65, 75, 90, 105, 115, 120 y 125). Siguiendo la curva de aprendizaje de Crespi (1942), seleccionaremos varios casos en los que, a partir del número de unidades de comida y el número de ensayos, el alumno habrá de ir indicando la velocidad a la que estima que la rata alcanzará el incentivo.

Hull (1943) estaba muy preocupado por las serias dificultades planteadas para cuantificar la fuerza del hábito, por lo que desplazó su interés hacia la cuantificación de la fuerza de la respuesta (E), aspecto en el que su lectura del experimento de Crespi (1942) le influyó decisivamente. La introducción del incentivo (K) como factor multiplicativo le permitía explicar los aumentos repentinos en la fuerza de la respuesta o aprendizaje latente.



Mientras que la fuerza del hábito aumenta con el número de ensayos, sin embargo, la fuerza de la respuesta es pequeña cuando el incentivo es también pequeño. Al aumentar el incentivo, crece la fuerza de la respuesta y, por lo tanto, se produce un mayor aprendizaje latente.

## **CAPÍTULO 7. ESTUDIO EXPERIMENTAL**

El objetivo primordial que guía este estudio experimental es el de intentar demostrar la utilidad de nuestro sistema computacional integrado PSICO-A para el aprendizaje de la Psicología en el ámbito de la Educación Secundaria. El impacto del uso de sistemas informáticos ya se está sintiendo a gran escala en la enseñanza y lo que hace dos décadas prometía generar una auténtica revolución, hoy en día ya es una realidad. El progreso en Informática e Inteligencia Artificial se ha aliado con el progreso en Ciencia cognitiva y ha generado una poderosa simbiosis. La combinación de software y actividades de aprendizaje y de resolución de problemas puede ayudar a los estudiantes a mejorar su rendimiento académico general. El problema es que, hasta ahora, bien sea por desinterés de los expertos o por la propia dificultad expositiva intrínseca de la materia, la revolución tecnológica no parece haber llegado al ámbito del estudio de las cuestiones psicológicas por parte de alumnos adolescentes. Se necesita no solo un esfuerzo de desarrollo en las técnicas informáticas sino también la realización de estudios experimentales serios y rigurosos que verifiquen las mejoras en el aprendizaje producidas por estos sistemas.

## **1.HIPÓTESIS**

Se plantean las siguientes hipótesis:

- (a) El uso de PSICO-A mejora el rendimiento general del alumnado en el aprendizaje de una Unidad Didáctica de Psicología frente al sistema de enseñanza clásico basado en la clase magistral.
- (b) El uso de mapas conceptuales como “ organizadores previos ” en PSICO-A parece mejorar el rendimiento de los alumnos en simulaciones computacionales.
- (c) PSICO-A puede contribuir a elevar el nivel metacognitivo inicial de estudiantes adolescentes de Psicología.

## 2. MÉTODO

### 2.1. PARTICIPANTES

Los participantes (véase la Tabla 4) fueron, finalmente, 104 estudiantes (Edad media=17,6), procedentes de dos Institutos de Educación Secundaria, el IES “Francisco Giner de los Ríos” (Alcobendas, Madrid)-que aportó 71 alumnos-, y el IES “Juan de Mairena” (San Sebastián de los Reyes, Madrid)-que contribuyó con 33 alumnos-. Ambos grupos han estado integrados por alumnos de Segundo de Bachillerato que han cursado la asignatura de Psicología. El profesor Carlos Pelta, recibió la ayuda de los profesores Irene García y Agustín Villarta en el IES “Francisco Giner de los Ríos” y el profesor Luis Carlos Yepes se ocupó de instruir y de realizar las pruebas en el IES “Juan de Mairena”. Tres alumnos que realizaron la primera prueba en Septiembre pero no se presentaron a la prueba de Diciembre, fueron descartados de la muestra inicial de 107 estudiantes. Los dos grupos experimentales de Psicología del IES “Francisco Giner de los Ríos” fueron seleccionados al azar y el grupo control estuvo integrado por los alumnos del IES “Juan de Mairena”.

Grupos	<i>N</i>
GEI	36
GEII	35
GC	33

**Tabla 4** - *N*: Número de alumnos que participaron en el estudio.

### 2.2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO

El material curricular empleado procede del libro de texto de Psicología de Bachillerato (Alonso, 2012). Para un análisis detallado de la arquitectura computacional y las funcionalidades de PSICO-A, puede verse González Marqués y Pelta (2013). Los alumnos del grupo de control (GC) recibieron la instrucción ordinaria propia de una clase estándar. Estos estudiantes fueron los

alumnos matriculados en la asignatura optativa de Psicología en el IES “Juan de Mairena”, mientras que los alumnos de los grupos experimentales (GEI y GEII) fueron aleatoriamente escogidos entre los dos grupos de la materia optativa de Psicología que se crearon en el IES “Francisco Giner de los Ríos”. Con el grupo GEI se empleó el sistema computacional de aprendizaje de la Psicología, PSICO-A, con la variante de que en lugar de utilizar el Modo de Simulación, los estudiantes utilizaron el Modo de Juego. Mientras tanto, el grupo GEII usó también PSICO-A pero accediendo al Modo de Simulación y no al Modo de Juego. Por lo tanto, para determinar la efectividad de PSICO-A sobre el aprendizaje, el estudio incluyó, como variables independientes, tres diferentes combinaciones de sistemas de enseñanza, PSICO-A+Juego, PSICO-A+Simulación y Clase magistral (se trata, pues, de un diseño multigrupos). La variable dependiente fue el rendimiento de los alumnos en una serie de parámetros, más abajo consignados. Todos los grupos realizaron un pre-tratamiento antes del comienzo del experimento (fase 1). Dicho pre-tratamiento fue usado como un análisis covariado de control de las diferencias individuales. Una vez que los dos grupos experimentales fueron tratados usando PSICO-A y que el grupo control recibió la clase estándar de ese mismo contenido, los tres grupos realizaron el post-tratamiento (fase 2). Finalmente, todos ellos fueron objeto de un test de seguimiento de lo aprendido en la fase 2.

El experimento se inició en la última semana de Septiembre de 2013 y se extendió hasta Abril de 2014. Antes de la realización del pre-tratamiento, los estudiantes de los tres grupos recibieron una explicación con preguntas del apartado 5.3 *Método experimental*, de la Unidad 1 (op. cit., p. 20), apartado que introduce nociones básicas de la experimentación psicológica como pueden ser las de variable independiente y variable dependiente (véase el Anexo 5). La clase tuvo una duración de 55 minutos y, dos días después y sin aviso previo, los alumnos estudiaron durante 15 minutos el tema explicado y realizaron una prueba de los contenidos el día 24 de Septiembre de 2013. La prueba incluía el material didáctico, un test de 10 preguntas elaborado a partir del cuestionario metacognitivo global de Mayor et al. (1993), un juicio de confianza (expresado

en forma de porcentaje-de 0 a 100-) acerca de la retentividad de lo estudiado, un ejercicio de recuperación libre de lo aprendido-con una duración de 10 minutos-, un mapa conceptual a realizar, durante 10 minutos, de lo estudiado (los alumnos habían recibido previamente nociones acerca de cómo usar mapas conceptuales para organizar el estudio de nuevo material, véase Novak,1998) y finalmente, un test de 30 cuestiones de elección múltiple a realizar durante un tiempo máximo de otros 10 minutos. Los días 17 y 18 de Diciembre de 2013, se realizó la prueba que consistió en aplicar el sistema PSICO-A a los grupos GEI y GEII y el sistema tradicional de enseñanza al grupo GC. En esta ocasión, los alumnos tuvieron que dar cuenta del material de estudio correspondiente al apartado 2.1 *La teoría de la reducción del impulso de C. Hull*, de la Unidad 13 (op. cit., p. 262). Dos días después y, sin previo aviso, el grupo control recibió un test con una estructura similar a la de la prueba de Septiembre pero, lógicamente, adaptada al contenido del nuevo material de aprendizaje. Los grupos experimentales ya tuvieron la oportunidad de realizar el post-tratamiento dentro del propio Sistema computacional PSICO-A, quedando allí registrados los resultados de cada alumno en cada una de las subpruebas. Un test de seguimiento acerca del contenido del apartado 2.1 con la misma estructura pero, con la lógica ligera variación en las preguntas de tipo metacognitivo y de elección múltiple, fue pasado el día 1 de abril de 2014, tanto a los grupos experimentales como al grupo control.

### **2.3. RESULTADOS**

Hemos hecho uso del programa estadístico SPSS 14.0 y hemos aceptado un grado de significación de 0,05. Un test de Homogeneidad de varianzas o test de Levene y un ANOVA de un solo factor fueron empleados para determinar si existió diferencia significativa en el pre-tratamiento recibido por los grupos. Evaluados los resultados, no existieron diferencias significativas entre los grupos en ninguna de las categorías planteadas, es decir, se trataba de grupos homogéneos en lo referido a su rendimiento en la prueba. Los resultados de la fase de pre-tratamiento fueron evaluados con respecto a las

siguientes categorías: **juicios de confianza**, **capacidad metacognitiva**, **número de conceptos en el test del recuerdo libre**, **fidelidad definicional de los conceptos en el test del recuerdo libre**, **número de conceptos en el mapa conceptual** y **Modo de Reflexión** o reconocimiento adecuado de conceptos. En el Anexo 5 se encontrarán los contenidos de las pruebas y en el Anexo 7 aparecerá una muestra de la prueba realizada por una alumna. A continuación, realizamos un comentario de los resultados por fases y categorías.

### **2.3.1. PRE-TRATAMIENTO**

**-Juicios de confianza:** de 0 a 100, los alumnos tuvieron que escribir su grado de confianza con respecto a su aprendizaje del apartado preguntado. El porcentaje del grado de confianza del total de los alumnos fue del 71%, bastante por encima de lo que luego resultó ser su rendimiento real en las otras facetas de la prueba.

**-Capacidad metacognitiva:** consistió en responder a un cuestionario de 10 preguntas de elección múltiple (4 opciones), inspirado en el cuestionario del Modelo Global de la Metacognición de Mayor et al. (1993) y pretendía realizar una aproximación rápida a la capacidad metacognitiva general en jóvenes y adultos. Se constató que el nivel promedio era bajo, apenas superando en ocho décimas los 4 puntos sobre un máximo de 10.

**-Número de conceptos en el test del recuerdo libre:** se procedió a localizar los conceptos de la prueba de recuerdo libre, coincidentes con los conceptos presentados y definidos en el subapartado de la Unidad Didáctica, y se comprobó que los alumnos escribieron y definieron un promedio de 8,68 conceptos sobre un total de 13 (66,76%); esto es, demostraron una buena capacidad retentiva.

**-Fidelidad definicional de los conceptos en el test del recuerdo libre:** los profesores a cargo de la corrección de las pruebas verificaron la

validez de cada una de las definiciones dadas, obteniéndose un porcentaje del 62,85% de acierto definicional en el conjunto de los tres grupos.

**-Número de conceptos en el mapa conceptual:** cada alumno hubo de representar con un mapa conceptual su comprensión del tema propuesto. Dos días antes de la realización de la prueba, los alumnos fueron introducidos al diseño de mapas conceptuales simples dotados de un solo tipo de relación causal. El número promedio de conceptos representados fue de 8 sobre un total de 13 posibles, con el grupo GEII promediando 8,42, apenas treinta centésimas por encima del grupo GEI y menos de un punto por encima del grupo GC.

**-Modo de Reflexión** o reconocimiento adecuado de conceptos: en el test de 30 cuestiones de elección múltiple, los alumnos promediaron 24 respuestas correctas, esto es, un alto porcentaje del 80% de aciertos. Esto parece poner en evidencia que hubo una comprensión adecuada de los contenidos impartidos durante la clase tradicional, a la vez que un alto grado de compromiso en la tarea por parte de los estudiantes.

### **2.3.2. POST-TRATAMIENTO**

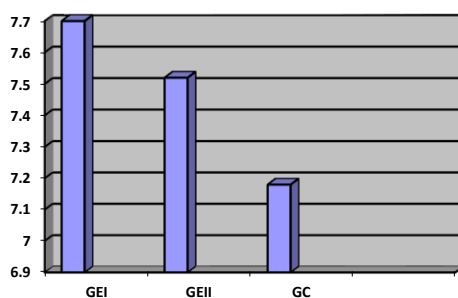
En el post-tratamiento de Diciembre, así como en la correspondiente prueba de seguimiento de Abril, se han evaluado los mismos parámetros que en el pre-tratamiento, añadiéndose el análisis del **porcentaje de relaciones correctas en el mapa conceptual**.

En cada caso se aplicó un ANOVA de un solo factor y un test de Tukey HSD para la comparación entre grupos. Analizamos a continuación los diferentes resultados:

**-Juicios de confianza:** no existió una diferencia significativa entre los grupos. En el post-tratamiento, el grupo que expresó un mayor grado de confianza en su aprendizaje fue el grupo GEII, con un porcentaje de 69,14, un resultado algo más de cuatro puntos por debajo del conseguido en la prueba inicial del mes de Septiembre (73,42%).

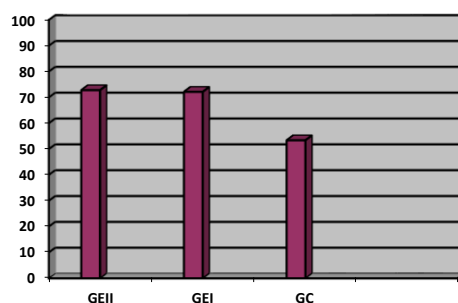


**-Capacidad metacognitiva:** simplemente existió una diferencia marginalmente significativa entre los grupos. En la prueba de post-tratamiento de Diciembre la puntuación de los tres grupos mejoró muy notablemente con respecto a la puntuación alcanzada en la prueba inicial de Septiembre. El grupo GEI alcanzó la mayor media, con 7,70 sobre 10 puntos, frente a los 7,52 del grupo GEII y los 7,18 del grupo control GC:



**Figura 67** – Capacidad Metacognitiva en el post-tratamiento (Medias).

**-Número de conceptos en el test del recuerdo libre:** en el post-tratamiento, el ANOVA de un solo factor indicó la existencia de una diferencia significativa entre los grupos y el Test de Tukey HSD especificó dicha diferencia intergrupos a favor de los dos grupos experimentales frente al grupo control. El grupo GEII volvió a demostrar la mayor retentividad de los conceptos, con una media de 14,57 conceptos mencionados sobre un total de 20 (72,85%). A solo 13 centésimas de esa media se situó el grupo GEI (72,20%). En cambio, los alumnos del grupo GC solo fueron capaces de mencionar un promedio de 10,69 sobre 20 (53,45%):



**Figura 68** – Número de conceptos en el post-tratamiento (Porcentajes).

Se sospechaba que en el post-tratamiento de los grupos experimentales pudiera existir alguna correlación entre la facilidad para generar conceptos en el mapa conceptual y el rendimiento de los alumnos tanto en el Juego como en la Simulación. Esta es una cuestión teóricamente interesante que será abordada en la discusión de los resultados experimentales, puesto que parece bien probada la influencia de herramientas pedagógicas como los organizadores previos (mapas conceptuales, etc.) en la resolución de Juegos y de Simulaciones. Es bien sabido que una correlación no tiene por qué implicar una relación causal pero localizarla puede ser un muy buen síntoma para explicar una posible influencia de auténtico calado teórico. En consecuencia, hemos investigado las siguientes correlaciones:

- (a) Correlación entre el número de conceptos en el mapa conceptual y el rendimiento en el Juego: no existió correlación bivariada significativa en el nivel 0,05 entre la riqueza en conceptos del mapa conceptual y las puntuaciones obtenidas en el Modo de Juego.
- (b) Correlación entre el número de conceptos en el mapa conceptual y el rendimiento en la Simulación: aquí sí que existió una correlación significativa entre el número medio de conceptos generados por los alumnos del grupo GEII y las altas puntuaciones obtenidas en la Simulación, poniendo tal vez en evidencia el influjo de un “organizador previo” (Ausubel, 1963), como los mapas conceptuales (Novak, 1998), sobre la elaboración de modelos mentales que permitan un mejor rendimiento en una Simulación que, a su vez, aumente el aprendizaje general de un tema por los alumnos (Hagemans, van der Meij y de Jong, 2013).
- (c) Correlación entre el número de relaciones correctas en el mapa conceptual y el rendimiento en el Juego: no existió correlación bivariada significativa en el nivel 0,05.

- (d) Correlación entre el número de relaciones correctas en el mapa conceptual y el rendimiento en la Simulación: hay indicios de que el beneficio alcanzado por el grupo GEII en la generación de mapas conceptuales usando PSICO-A, no quedó limitado a la mera recuperación memorística de conceptos, sino que incidió en un mayor grado de comprensión de lo estudiado y, en consecuencia, en un mejor desempeño en la Simulación propuesta. Por lo tanto, sí que existió una correlación bivariada significativa al respecto.

Mostramos todos estos resultados en la siguiente tabla:

	Juego	Simulación
<b>Número de conceptos</b>		
Correlación de Pearson	0,183	<b>0,354*</b>
Sig. (2-factores)	0,285	<b>0,037</b>
N	36	35
<b>Número de relaciones correctas</b>		
Correlación de Pearson	0,155	<b>0,833*</b>
Sig. (2-factores)	0,366	<b>0,000</b>
N	36	35

**Tabla 5**–Correlación entre el número de conceptos y el número de relaciones correctas en el mapa conceptual y el rendimiento en el Juego y en la Simulación.

Un ANOVA de un solo factor acerca de la diferencia en el porcentaje de puntos con respecto a la puntuación máxima, en el Juego y en la Simulación, permitió ir más allá de las correlaciones arriba establecidas, remarcando la significación de las diferencias encontradas:

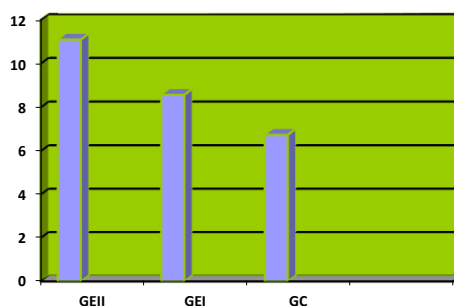
Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Intergrupos	9730,199	2	9730,199	73,225	<b>0,000</b>
Intragrupos	9168,810	69	132,881		
Total	18899,009	71			

**Tabla 6**–Diferencia en el porcentaje de puntos con respecto a la puntuación máxima, en el Juego y en la Simulación.

**-Fidelidad definicional de los conceptos en el test del recuerdo libre:** en los grupos experimentales se pasó de un porcentaje promedio global

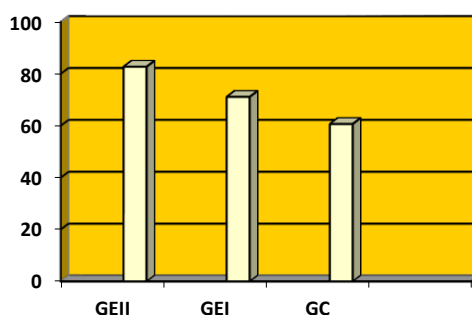
de definiciones correctas de algo más del 62% en la prueba de Septiembre a un ascenso en el post-tratamiento. El porcentaje fue alto en el mejor de los grupos-el grupo GEII-, con casi un 77% en el post-tratamiento de Diciembre. En esta prueba, el ANOVA de un solo factor estableció una diferencia significativa entre grupos y el Test de Tukey HSD probó una diferencia significativa a favor de los dos grupos experimentales con respecto al grupo control pero también marcó una diferencia significativa a favor del grupo GEII en relación al grupo GEI.

**-Número de conceptos en el mapa conceptual:** la media de conceptos generados por los tres grupos en el post-tratamiento de Diciembre fue de 8,8, ocho décimas por encima de los promediados en la actividad inicial del mes de Septiembre. El grupo GEII promedió 11,11 conceptos frente a los 8,58 del grupo GEI y los 6,75 del grupo control. El ANOVA de un solo factor estableció que la diferencia fue significativa entre los tres grupos mientras que el Test de Tukey HSD cualificó como significativa tal diferencia a favor de los grupos experimentales frente al grupo control y, a su vez, entre el grupo GEII y el grupo GEI. Pareciera como si PSICO-A fuera particularmente efectivo a la hora de animar a los estudiantes a generar conceptos, disparando la generación de los mismos, a diferencia de lo sucedido con el grupo que recibió la clase expositiva tradicional. Incluso GEII generó de promedio casi tres conceptos más que los que el propio grupo había generado en Septiembre. GEII siguió manteniendo su ventaja con respecto a los otros tres grupos en las posteriores pruebas:



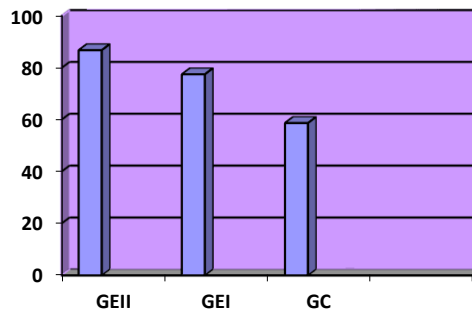
**Figura 69** – Número de conceptos del mapa en el post-tratamiento (Medias).

**-Porcentaje de relaciones correctas en el mapa conceptual:** no solo había que considerar el número de conceptos generados en un mapa sino que también era preceptivo valorar la riqueza del mismo y el grado de complejidad y de exactitud de las relaciones establecidas entre conceptos. Así pues, todos los alumnos fueron previamente enseñados a distinguir entre relaciones causales, jerárquicas y descriptivas en un mapa conceptual. En la prueba del mes de Diciembre, el porcentaje de relaciones correctas fue llamativamente alto en el grupo GEII, muy por encima de los restantes grupos, con un porcentaje del 82,77% (en el grupo GEI fue del 71,16% y en el grupo GC fue del 60,69%):



**Figura 70** – Relaciones conceptuales correctas en el mapa, en el post-tratamiento (Porcentajes).

**-Modo de Reflexión** o reconocimiento adecuado de conceptos: sin duda, este es el mejor indicador posible de la superioridad de PSICO-A con respecto al método tradicional de enseñanza. En todas las pruebas los alumnos hubieron de seleccionar las respuestas correctas concernientes a 30 cuestiones de opción múltiple. En el post-tratamiento, el porcentaje de aciertos fue muy alto (86,80%) en el grupo GEII, alto en el grupo GEI (77,50%) y medio bajo en el grupo GC (58,70%), grupo este que descendió en su rendimiento en algo más de cinco puntos en relación con la prueba inicial de Septiembre:



**Figura 71** – Modo de Reflexión en el post-tratamiento (Porcentajes).

El ANOVA de un solo factor registró una diferencia significativa entre los grupos y el Test de Tukey HSD mostró una diferencia significativa de los dos grupos experimentales con respecto al grupo control y, a su vez, del grupo GEII con respecto al grupo GEI.

### **2.3.3. TEST DE SEGUIMIENTO**

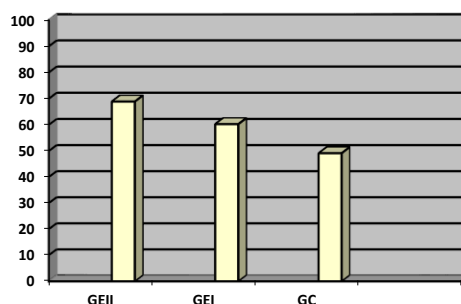
**-Juicios de confianza:** en el test de seguimiento del mes de Abril, se produjo un descenso generalizado en el grado de confianza manifestado por los tres grupos, hasta el punto de que el grupo GEII-que siguió siendo el grupo con el mayor porcentaje-,descendió casi cuatro puntos hasta un porcentaje del 65,71, esto es, un grado bastante realista.

**-Capacidad metacognitiva:** en el test de retención o seguimiento, apenas se produjeron ligerísimas variaciones entre las medias intergrupos, repuntando mínimamente todas las puntuaciones. Y así, el grupo GEI continuó liderando las puntuaciones con 7,84 puntos sobre 10, esto es, un nivel metacognitivo ya alto.

**-Número de conceptos en el test del recuerdo libre:** el ANOVA de un solo factor siguió marcando una diferencia significativa entre los grupos y el Test de Tukey HSD continuó estableciendo una diferencia significativa a favor de los dos grupos experimentales con respecto al grupo control. Como es

lógico, el promedio de conceptos recordados descendió en todos los grupos, habida cuenta de los algo más de tres meses transcurridos desde el post-tratamiento aplicado en el mes de Diciembre. Y así, el grupo que más recordó (GEII), recordó un promedio de algo menos de 14 conceptos y se mantuvo en un porcentaje del 67,40% de conceptos recordados frente al 72,85% anterior (del total de los 20 conceptos definidos en el apartado de la Unidad Didáctica). Las pérdidas en retentividad fueron todavía mayores en los grupos GEI y GC, con un descenso de casi siete puntos porcentuales en el primer grupo experimental y de algo más de esos siete puntos en el grupo control. Es curioso constatar que, incluso en el test de seguimiento, el grupo GEII obtuvo un porcentaje de recuerdo del total de conceptos de casi un punto por encima de lo conseguido en el pre-tratamiento inicial de Septiembre, y otro tanto puede decirse del rendimiento alcanzado por el primer grupo experimental. Parece claro que el efecto del sistema PSICO-A en esta faceta del rendimiento de los alumnos fue lo suficientemente perdurable como para incluso mejorar los resultados de la primera prueba y eso contando con 7 conceptos más a ser recordados por los alumnos.

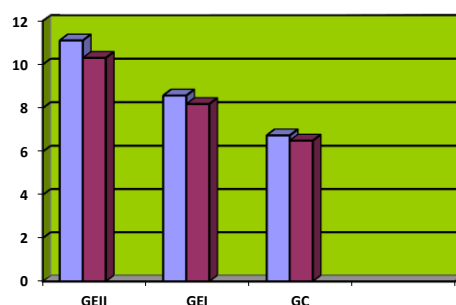
**-Fidelidad definicional de los conceptos en el test del recuerdo libre:** el porcentaje de definiciones correctas en el grupo GEII fue casi del 69% en el test de seguimiento de Abril-, disminuyendo algo en los grupos GEI y GC-. De hecho, en la prueba de seguimiento, el grupo GEI llegó a un 60,30% de definiciones correctas con respecto al total de 20 conceptos mientras que el grupo GC ni siquiera llegó a la mitad (49,17%). Y en este caso había que estudiar 7 conceptos más que en el pre-tratamiento inicial. La efectividad de PSICO-A pareciera estar también del lado de la comprensión de los conceptos:



**Figura 72** – Fidelidad definicional de los conceptos en el test de seguimiento (Porcentajes).

En el test de seguimiento, tanto el ANOVA de un solo factor como el Test de Tukey mantuvieron la significación de las diferencias entre los grupos experimentales y el grupo control, así como del grupo GEII con respecto al grupo GEI.

**-Número de conceptos en el mapa conceptual:** el test de seguimiento de Abril no hizo más que mantener la significación de las diferencias ya señaladas en la prueba de Diciembre. El grupo GEII construyó en el mapa una media de 10,31 conceptos, el grupo GEI promedió 8,19 conceptos generados y el grupo GC se mantuvo en una media de 6,51 conceptos:



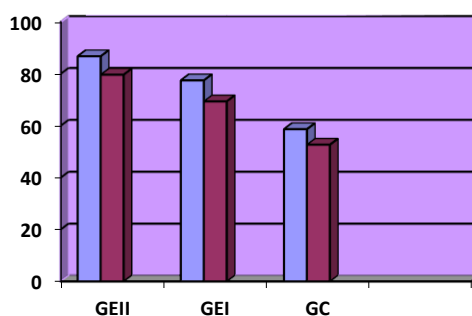
**Figura 73** – Número de conceptos del mapa en el post-tratamiento y en el test de seguimiento (Medias).

Existió una diferencia significativa entre los grupos, tal y como puso de manifiesto el ANOVA de un solo factor y también el Test de Tukey HSD corroboró: los dos grupos experimentales se situaban por encima del grupo control y, entre ellos, también el grupo GEII se distinguía con respecto al grupo GEI.



**-Porcentaje de relaciones correctas en el mapa conceptual:** es llamativo que en la prueba de seguimiento de Abril apenas se produjo una disminución en el porcentaje de acierto del grupo GEII (82,25%), bajando los otros dos grupos algo más de dos puntos cada uno de ellos. Como es obvio, las pruebas ANOVA de un solo factor y Tukey HSD revelaron la existencia de las diferencias significativas mencionadas en el párrafo anterior.

**-Modo de Reflexión** En el test de seguimiento de Abril y, tal y como era previsible, se produjo un descenso sostenido en el rendimiento de los tres grupos (en torno a los siete puntos de descenso promedio). El grupo GEII bajó hasta el 79,70% de respuestas acertadas, el grupo GEI alcanzó el 69,40% y, finalmente, el grupo GC obtuvo el 52,70% de aciertos:



**Figura 74** – Modo de Reflexión en el post-tratamiento y en el test de seguimiento (Porcentajes).

Como todos los grupos registraron un parecido descenso, siguió existiendo una diferencia significativa-tal y como puso de relieve el ANOVA-, entre ellos. En la prueba de Tukey HSD, el grupo GEII continuó despuntando sobre el grupo GEI.

A continuación insertamos en unas tablas aquellos resultados significativos (en color rojo) correspondientes a los cinco últimos parámetros mencionados en cada una de las fases del experimento:

Número de conceptos en el test del recuerdo libre	Pre-tratamiento ANOVA de un solo factor (sin diferencias significativas)						
	Fuente de la varianza		Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos		86,616	2	43,308	1,346	0,265
	Intragrupos		3346,039	104	32,173		
	Total		3432,654	106			
	Post-tratamiento ANOVA de un solo factor						
	Fuente de la varianza		Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos		303,758	2	151,879	22,329	0,000
	Intragrupos		687,001	101	6,802		
	Total		990,760	103			
	Post-tratamiento Test de Tukey HSD						
	(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.		
GEI	GEII	-0,159	0,619	0,964			
	GC	3,589*	0,633	0,000			
GEII	GEI	0,159	0,619	0,964			
	GC	3,747*	0,629	0,000			
GC	GEI	-3,589*	0,633	0,000			
	GEII	-3,747*	0,629	0,000			
Test de Seguimiento- ANOVA de un solo factor							
Fuente de la varianza		Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.	
Intergrupos		325,169	2	162,584	31,690	0,000	
Intragrupos		518,177	101	5,130			
Total		843,346	103				
Test de Seguimiento- Test de Tukey HSD							
(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.			
GEI	GEII	-1,041	0,538	0,134			
	GC	3,172*	0,546	0,000			
GEII	GEI	1,041	0,538	0,134			
	GC	4,213*	0,550	0,000			
GC	GEI	-3,172*	0,546	0,000			
	GEII	-4,213*	0,550	0,000			

**Tabla 7 – Número de conceptos en el test del recuerdo libre (ANOVA y Test de Tukey).**

Fidelidad definicional de los conceptos en el test del recuerdo libre	Pre-tratamiento ANOVA de un solo factor (sin diferencias significativas)					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	1,460	2	0,730	0,113	0,893
	Intragrupos	671,605	104	6,458		
	Total	673,065	106			
	Post-tratamiento ANOVA de un solo factor					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	229,813	2	114,906	26,320	0,000
	Intragrupos	440,947	101	4,366		
	Total	670,760	103			
Post-tratamiento Test de Tukey HSD						
(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.		
GEI	GEII	-1,941*	0,496	0,000		
	GC	-1,732*	0,504	0,000		
GEII	GEI	1,941	0,496	0,000		
	GC	3,674*	0,507	0,000		
GC	GEI	-1,732*	0,504	0,002		
	GEII	-3,674*	0,507	0,000		
	Test de Seguimiento- ANOVA de un solo factor					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	200,908	2	100,454	25,590	0,000
	Intragrupos	396,477	101	3,926		
	Total	597,385	103			
	Test de Seguimiento- Test de Tukey HSD					
	(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.	
	GEI	GEII	-1,744	0,470	0,001	
		GC	-1,694*	0,477	0,002	
	GEII	GEI	1,744*	0,470	0,001	
GC		3,438*	0,481	0,000		
GC	GEI	-1,694*	0,477	0,002		
	GEII	-3,438*	0,481	0,000		

**Tabla 8** – Fidelidad definicional de los conceptos en el test del recuerdo libre (ANOVA y Test de Tukey).

Número de conceptos en el mapa conceptual	Pre-tratamiento ANOVA de un solo factor (sin diferencias significativas)					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	7,284	2	3,642	0,499	0,609
	Intragrupos	758,903	104	7,297		
	Total	766,187	106			
	Post-tratamiento ANOVA de un solo factor					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	325,956	2	162,978	47,829	0,000
	Intragrupos	344,159	101	3,408		
	Total	670,115	103			
	Post-tratamiento Test de Tukey HSD					
	(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.	
	GEI	GEII	-2,503*	0,438	0,000	
		GC	-1,854*	0,445	0,000	
	GEII	GEI	2,503*	0,438	0,000	
GC		4,357*	0,448	0,000		
GC	GEI	-1,854*	0,445	0,000		
	GEII	-4,357*	0,448	0,000		
Test de Seguimiento- ANOVA de un solo factor						
Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.	
Intergrupos	246,951	2	123,475	53,888	0,000	
Intragrupos	231,424	101	2,291			
Total	478,375	103				
Test de Seguimiento- Test de Tukey HSD						
(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.		
GEI	GEII	-2,120*	0,359	0,000		
	GC	-1,679*	0,365	0,000		
GEII	GEI	2,120*	0,359	0,000		
	GC	3,799*	0,367	0,000		
GC	GEI	-1,679*	0,365	0,000		
	GEII	-3,799*	0,367	0,000		

**Tabla 9** – Número de conceptos en el mapa conceptual (ANOVA y Test de Tukey).

Porcentaje de relaciones correctas en el mapa conceptual	Pre-tratamiento ANOVA de un solo factor (no se midió)					
	Post-tratamiento ANOVA de un solo factor					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	8295,359	2	4147,679	15,453	0,000
	Intragrupos	27108,141	101	268,397		
	Total	35403,500	103			
	Post-tratamiento Test de Tukey HSD					
	(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.	
	GEI	GEII	-11,6048*	3,8890	0,010	
		GC	10,4697*	3,9483	0,025	
GEII	GEI	11,6048*	3,8890	0,010		
	GC	22,0745*	3,9751	0,000		
GC	GEI	-10,4697*	3,9483	0,025		
	GEII	-22,0745*	3,9751	0,000		
Test de Seguimiento- ANOVA de un solo factor						
Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.	
Intergrupos	7554,882	2	3777,441	16,725	0,000	
Intragrupos	22811,733	101	225,859			
Total	30366,615	103				
Test de Seguimiento- Test de Tukey HSD						
(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.		
GEI	GEII	-11,0667*	3,5675	0,007		
	GC	10,0000*	3,6219	0,019		
GEII	GEI	11,0667*	3,5675	0,007		
	GC	21,0667*	3,6465	0,000		
GC	GEI	-10,0000*	3,6219	0,019		
	GEII	-21,0667*	3,6465	0,000		

**Tabla 10** – Porcentaje de relaciones correctas en el mapa conceptual (ANOVA y Test de Tukey).

Modo de Reflexión	Pre-tratamiento ANOVA de un solo factor (sin diferencias significativas)					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	26,986	2	13,493	0,593	0,555
	Intragrupos	2367,630	104	22,766		
	Total	2394,617	106			
	Post-tratamiento ANOVA de un solo factor					
	Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.
	Intergrupos	134,991	2	67,495	79,056	0,000
	Intragrupos	86,231	101	0,854		
	Total	221,221	103			
	Post-tratamiento Test de Tukey HSD					
	(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.	
GEI	GEII	-0,82143*	0,21934	0,001		
	GC	1,93182*	0,22268	0,000		
GEII	GEI	0,82143*	0,21934	0,001		
	GC	2,75325*	0,22420	0,000		
GC	GEI	-1,93182*	0,22268	0,000		
	GEII	-2,75325*	0,22420	0,000		
Test de Seguimiento- ANOVA de un solo factor						
Fuente de la varianza	Suma cuadrática	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Sig.	
Intergrupos	125,585	2	62,792	65,109	0,000	
Intragrupos	97,406	101	0,964			
Total	222,990	103				
Test de Seguimiento- Test de Tukey HSD						
(I)	(J)	Diferencia (I-J)	Desviación típica	Sig.		
GEI	GEII	-1,02698*	0,23312	0,000		
	GC	1,67172*	0,23667	0,000		
GEII	GEI	1,02698*	0,23312	0,000		
	GC	2,69870*	0,23828	0,000		
GC	GEI	-1,67172*	0,23667	0,000		
	GEII	-2,69870*	0,23828	0,000		

**Tabla 11** – Modo de Reflexión (ANOVA y Test de Tukey).

### 3. EVALUACIÓN EXTERNA

Hemos evaluado externamente PSICO-A siguiendo el procedimiento de Drever (1997) sobre entrevistas semiestructuradas a pequeña escala y la batería de preguntas empleada en Bai et al. (2007a). El objetivo ha sido analizar el valor motivacional del sistema para los estudiantes. Dos días después de que se administrase el test de retención final en el mes de Abril, fueron seleccionados al azar 24 alumnos ( $M=17,3$ ) del IES “Francisco Giner de los Ríos” que habían participado en la prueba experimental. Doce de ellos pertenecían al grupo GEI y los otros doce correspondían al grupo GEII. Veinte estudiantes observaron que el Sistema les había parecido interesante y que tanto el Juego como la Simulación les habían resultado divertidos y retadores. Para  $n=24$ , se aplicó una escala de Likert de uno a cinco (Sí/No) a una batería de tres preguntas: (1) ¿Ha aumentado tu interés por la materia el uso de PSICO-A?; (2) ¿crees que PSICO-A puede mejorar tu comprensión de la asignatura?; (3) ¿te gustaría estudiar más temas de Psicología usando PSICO-A?. Los valores de la escala fueron: (1) muy en desacuerdo; (2) en desacuerdo; (3) neutral; (4) de acuerdo y (5) muy de acuerdo. La siguiente tabla demuestra que la aceptación del Sistema por los alumnos fue muy alta, promediando valores por encima de 4 sobre 5:

CUESTIONES	MEDIA
(1) ¿Ha aumentado tu interés por la materia el uso de PSICO-A?	4,5
(2) ¿Crees que PSICO-A puede mejorar tu comprensión de la asignatura?	4,4
(3) ¿Te gustaría estudiar más temas de Psicología usando PSICO-A?	4,6

**Tabla 12**–Valor motivacional de PSICO-A en una escala de Likert.

La mayoría de los estudiantes-tal y como puede observarse en la tabla-, consideraron que PSICO-A es un instrumento muy adecuado para estudiar la

materia de Psicología e incluso ocho de ellos declararon abiertamente su interés por estudiar un Grado de esta materia. Y así, por ejemplo, N.L. expresó que esta herramienta le permitió una mejor comprensión de los conceptos de lo estudiado. Para I. C. el diseño del Juego tenía mucho que ver con el apartado de la Unidad Didáctica que tuvo que estudiar. Según N.T., la Simulación le ayudó mucho para terminar de consolidar las nociones aprendidas. S.P. y E.M. coincidieron en que hubieran necesitado algo más de tiempo (quizá cinco minutos) para estudiar el texto, puesto que “estaba lleno de demasiados conceptos”. N.M. agradeció el disponer de un bloc de notas para ir anotando lo recordado, lo cual reforzó su desempeño en el Modo de Reflexión. J.Q. expresó que la ordenación de las actividades en PSICO-A le ayudó mucho y B.R. comentó que le gustaría estudiar un Grado de Psicología. A.S. manifestó que agradecía realizar actividades que se alejaran de los patrones tradicionales de enseñanza y, en cambio, A. P. sugirió cierta frustración al tener que completar el cuestionario metacognitivo, puesto que sentía que era poco útil tener que dedicar tiempo a responder a preguntas relacionadas con la manera de estudiar: “tú has de estudiar así, tú has de recordar de esta otra manera...” Finalmente, hubo alumnos que agradecieron el sistema de “feedback” de PSICO-A, al poder disponer de una pequeña ayuda cuando dudaban ante una posible respuesta.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. HIPÓTESIS (a)

*El uso de PSICO-A mejora el rendimiento general del alumnado en el aprendizaje de una Unidad Didáctica de Psicología frente al sistema de enseñanza clásico basado en la clase magistral.*

Los resultados obtenidos apoyan esta hipótesis. En primer lugar, hemos de referirnos a la prueba de **recuerdo libre**. Karpicke y Blunt (2011) subrayan



el valor que este tipo de actividad posee para el aprendizaje de material didáctico por parte de los alumnos, incluso por encima del uso de “organizadores previos” como los mapas conceptuales. Es habitual considerar que las tareas de tipo elaborativo (realización de diagramas, mapas conceptuales, etc.) aportan más al aprendizaje de los alumnos que las simples actividades de recuperación de recuerdos. La clave estaría en que el primer tipo de pruebas apuntalaría mejor el aprendizaje significativo de los estudiantes. No obstante, Karpicke y Blunt (art. cit.) demuestran que las tareas de recuperación libre de recuerdos catalizan el aprendizaje significativo, incluso en mayor medida que las técnicas de aprendizaje elaborativo basadas en mapas conceptuales; esto es, mejoran la comprensión y la capacidad inferencial de los alumnos y refuerzan el aprendizaje a través de mecanismos fundamentados en la recuperación más que en la elaboración. Y es que los procesos de recuperación libre serían también mecanismos activos de aprendizaje porque los alumnos han de crear una estructura organizada de recuperación y discriminar los conceptos individuales a partir de dicha estructura. En consecuencia, la práctica del recuerdo libre activa las pistas para recuperar un determinado bloque de conocimiento, excluyendo como candidatos a otras posibles unidades de información. Según los autores (Karpicke y Blunt, 2011), más que incrementar la cantidad de características codificadas de un texto-algo propio del aprendizaje elaborativo-, la recuperación libre permite reconstruir lo estudiado, restringiendo el conjunto de posibles candidatos informacionales especificados por una pista dada y delimitando el espacio cognitivo de búsqueda. Todavía más; se trata de una herramienta muy valiosa para reconstruir y promover el aprendizaje conceptual en la ciencia, precisamente uno de los ejes de la didáctica implícita en PSICO-A: la generación y comprensión de conceptos. De ahí que la variable de **recuerdo libre** nos resulta de utilidad para determinar la superioridad de PSICO-A frente al sistema clásico de enseñanza, si se conecta con la generación de conceptos o **número de conceptos** en el test del recuerdo libre. En el **número de conceptos** generados en la prueba de recuerdo libre, no existieron diferencias significativas entre ninguno de los tres grupos en el test

inicial de Septiembre ( $F_{(2,104)}=0,499$ ,  $p<.609$  en el ANOVA de un factor y  $p<.430$  en el Test de Levene o de Homogeneidad de varianzas). Pero en la prueba de Diciembre, un ANOVA de un solo factor ( $F_{(2,101)}=22,329$ ,  $p<.000$ ) y un posterior Test de Tukey (aplicado en todos los casos con un nivel de significación del 5%) sí que descubrieron una diferencia significativa a favor de los grupos experimentales con respecto al grupo control. La significación de la diferencia se mantuvo en la prueba de seguimiento realizada en Abril (tanto en el ANOVA de un factor-  $F_{(2,101)}=31,690$ ,  $p<.000$ -, como en la prueba de Tukey). Es posible que haya influido la propia estructura del diseño modular de PSICO-A, que garantiza que los alumnos han de rellenar la caja del Bloc de Notas después de haber mencionado si disponen de conocimientos previos acerca del tema. Aparte de la proximidad temporal con la información que se acaba de estudiar, tal vez el forzar a los alumnos a recordar si el tema “les suena”, active mejor las pistas mnemónicas del recuerdo libre y, en la línea de lo establecido por Karpicke y Blunt, genere una mejor recuperación conceptual.

La **fidelidad definicional de los conceptos** se refiere al porcentaje de definiciones correctas de conceptos realizadas por los sujetos en la actividad de recuerdo libre. Como demostró un ANOVA de un solo factor ( $F_{(2,104)}=0,113$ ,  $p<.893$ ) y el Test de Levene ( $p<.076$ ), no se dieron diferencias significativas entre los tres grupos y resultaron ser grupos homogéneos en el test inicial. Los alumnos de los tres grupos construyeron un porcentaje similar de definiciones correctas en sus escritos. Pero el ANOVA de un factor ( $F_{(2,101)}=26,320$ ,  $p<.000$ ) y el Test de Tukey, aplicados al post-tratamiento de Diciembre, muestran diferencias significativas entre los grupos, a favor del grupo GEII con respecto al grupo GEI ( $p<.000$ ) y muy significativas de estos dos grupos frente al grupo GC ( $p<.000$  y  $p<.002$ , respectivamente). Los resultados se mantuvieron en el test final de Abril ( $F_{(2,101)}=25,590$ ,  $p<.000$  en el ANOVA y  $p<.001$  para la diferencia entre GEII y GEI en la prueba de Tukey). PSICO-A parecería tener no solo un efecto activador en la retención de conceptos sino también en su comprensión. La razón puede encontrarse, como ya se ha comentado, en su forma de activar las pistas del recuerdo libre para discernir entre los diversos conceptos y sus significados.

Por lo que atañe al **número de conceptos en el mapa conceptual**, Karpicke y Blunt (2011) establecen que la elaboración de mapas conceptuales sin tener delante el texto a estudiar (como sucede en PSICO-A), es también una muestra práctica de recuperación de la información. Hubo homogeneidad entre los tres grupos en la prueba de Septiembre ( $p < .367$  en Levene y  $F_{(2,104)} = 1,838$ ,  $p < .164$ , en el ANOVA). Sin embargo, ANOVA ( $F_{(2,101)} = 47,829$ ,  $p < .000$ ) y Tukey HSD ( $p < .000$ ) encontraron diferencias significativas en Diciembre entre los grupos, en particular entre los grupos experimentales y el grupo control, superando también GEII a GEI. Dichas diferencias significativas se mantuvieron en la prueba de seguimiento de Abril ( $F_{(2,101)} = 53,888$ ,  $p < .000$  en el ANOVA y  $p < .000$  en Tukey). Estos resultados podrían reforzar la idea de la superioridad de un sistema automático de construcción de mapas conceptuales (véase también Briggs et al., 2004 para el caso de *Cmap Tools*) frente al uso del lápiz y papel tradicionales. En PSICO-A, los conceptos y los tres tipos de relaciones entre conceptos (causales, jerárquicas y descriptivas) aparecen en la parte superior de la pantalla y, a través de un fácil procedimiento, las cajas de conceptos son introducidas, conectadas y manipuladas por el alumno. No obstante, PSICO-A no cambiaría el signo del aprendizaje entre aquellos grupos que lo usan, puesto que no reforzaría lo suficiente los resultados de los grupos “desfavorecidos” de partida. De ahí que el grupo GEI, que ya generó menos conceptos en el mapa conceptual que el grupo GEII en la prueba de Septiembre, no recupere su desventaja ni en la prueba de Diciembre ni en el test de Abril.

En la tarea de reconocimiento adecuado de conceptos a través de las preguntas de elección múltiple del **Modo de Reflexión**, no se encontraron inicialmente diferencias significativas entre los grupos ( $F_{(2,104)} = 0,593$ ,  $p < .555$ , según el ANOVA), dándose Homogeneidad de varianzas en las muestras ( $p < .835$ ). Pero en la prueba de Diciembre se encontraron diferencias significativas entre los grupos, tal y como puso de manifiesto el ANOVA de un factor ( $F_{(2,101)} = 79,056$ ,  $p < .000$ ) y se localizó una diferencia significativa-vía Test de Tukey ( $p < .001$  y  $p < .000$ , respectivamente)-, a favor del grupo GEII frente a los grupos GEI y GC. También se dió esta diferencia-a favor del grupo GEI-,

con respecto al grupo de control. Tales diferencias quedaron refrendadas en el test de seguimiento de Abril ( $F_{(2,101)}=65,109$ ,  $p<.000$  en el ANOVA y  $p<.000$  en la prueba de Tukey). Quizá la mejor elaboración del mapa conceptual-actividad que precede a la actividad ligada al Modo de Reflexión-, entre los alumnos de los grupos experimentales, ha sido un indicio de que estos alumnos han consolidado los conocimientos adquiridos mejor que en el caso de los sujetos del grupo GC. Pero también los integrantes del grupo GC realizaron su propio mapa conceptual, por lo que la diferencia ha de explicarse porque PSICO-A aporta un “feedback” flexible en el Modo de Reflexión y un diseño en módulos integrados que secuencian bien el ejercicio de cada subtarea.

#### **4.2. HIPÓTESIS (b)**

*El uso de mapas conceptuales como “organizadores previos” en PSICO-A, parece mejorar el rendimiento de los alumnos en simulaciones computacionales.*

La hipótesis es confirmada por los datos disponibles. Empezamos analizando el porcentaje de **relaciones conceptuales correctas** (Ruiz-Primo y Shavelson, 1996 y Hagemans et al., 2013) en el mapa conceptual. Este aspecto no fue considerado en la prueba de Septiembre porque los alumnos solo fueron adiestrados para establecer relaciones de carácter causal entre conceptos, a diferencia de lo que sucedió en posteriores test, en los que ya fueron preparados para añadir relaciones de tipo descriptivo y jerárquico. Tanto en la prueba de Diciembre ( $F_{(2,101)}=15,453$ ,  $p<.000$  para el ANOVA) como en el test de seguimiento de Abril ( $F_{(2,101)}=16,725$ ,  $p<.000$ ) hubo una clara superioridad del grupo GEII con respecto a los otros dos grupos ( $p<.010$  y  $p<.000$  en el Test de Tukey de Diciembre y  $p<.007$  y  $p<.000$  en el de Abril) y la superioridad también fue significativa del grupo GEI con respecto al grupo control ( $p<.025$  y  $p<.019$ , respectivamente). Parece que el mejor rendimiento del grupo GEII en el apartado de la **fidelidad definicional** frente al grupo GEI, puede explicar el que los mapas conceptuales pergeñados por los integrantes

del primer grupo estén mejor elaborados. Un análisis de correlación bivariada reveló la correlación entre el número de conceptos y el porcentaje de relaciones correctas y el rendimiento obtenido en la Simulación por el grupo GEII. En cambio, tales correlaciones no se dieron con el rendimiento en el Juego obtenido por el grupo GEII. Aparte de consideraciones acerca de la dificultad comparativa entre la ejecución del Juego y la de la Simulación, se comprobó a través de las versiones de escritorio, que los sujetos del grupo GEI cometían un promedio de dos errores más que los del GEII en la actividad de asignación de velocidades de respuesta del agente (como se indica en la parte inferior de la quinta pantalla, tanto en el Juego como en la Simulación). Este resultado podría abonar los hallazgos de Hagemans et al. (2013). Como bien es sabido, una de las herencias más interesantes de la teoría constructivista educacional de Ausubel (1963) es el concepto de “organizadores previos”. Se trata de un tipo de material introductorio-situado a un nivel mayor de generalidad e inclusividad que el material a estudiar-, y que aporta un apoyo para la incorporación del material que el alumno debe aprender. Según Ausubel (2002, p. 117), la función de los organizadores es la de “proporcionar un anclaje ideacional para la incorporación y la retención estable del material más detallado y diferenciado a aprender”. Los organizadores han de relacionarse de una manera explícita con el fragmento más específico que sigue después y además deben ser enlazables con las ideas ya establecidas en la estructura cognitiva. A este proceso que conecta nueva información con segmentos preexistentes, pertinentes y de orden superior, Ausubel (2002, p. 155) lo denomina aprendizaje “subsumidor”. Así pues, la aparición de nuevos significados proposicionales reflejará una relación subordinada del nuevo material con ideas de orden superior, generando una organización jerárquica de la estructura cognitiva en la que las propias ideas subsumidas se convertirán en subsumidoras. Es precisamente así cómo los mapas conceptuales-como organizadores previos-，“organizan los nuevos hechos relacionados en torno a un tema común, integrando los elementos del nuevo conocimiento entre sí y con el conocimiento ya existente” (Ausubel, 2002, p.156). Con posterioridad, Novak (1977) y Novak y Gowin (1984) demostraron

que los mapas conceptuales eran una técnica muy adecuada para servir como organizadores previos. Los mapas conceptuales son esquemas gráficos que constan de conceptos, palabras-enlace que sirven para unir los conceptos y proposiciones que forman una unidad semántica configurada por los conceptos interrelacionados. Los mapas conceptuales se caracterizan por su carácter jerarquizado (los conceptos más inclusivos se sitúan en la parte superior y los ejemplos en la parte más inferior), son selectivos (sintetizan lo más importante o significativo) y favorecen la memoria visual.

Hagemans et al. (2013) muestran que la realización previa de mapas conceptuales (convencionales o marcando con colores los conceptos desplegados) mejora el rendimiento de los sujetos en una actividad de aprendizaje de cinemática, basada en una simulación. Su experimento indagó en si un mapa conceptual podía mejorar el rendimiento de un grupo de estudiantes de Secundaria en una simulación que planteaba un clásico problema de velocidad de un móvil. La ordenación de los conceptos en la pantalla de la simulación seguía la ordenación de los conceptos en el mapa conceptual. En la simulación los estudiantes podían manipular la variable de la velocidad y poner en acción el movimiento del automóvil. Cuando los estudiantes creían saber la respuesta correcta, podían detener la simulación y recibían un “feedback” sobre la corrección de aquella. Los alumnos del grupo experimental se beneficiaron de una manera considerable de la presencia en la pantalla del mapa conceptual antes de la simulación, comparados con los alumnos del grupo control que no pudieron disponer de esta herramienta de apoyo. Es más, cuando en otra condición experimental, se les presentó un mapa conceptual con las cajas de los conceptos coloreadas, visualizando la progresión del mapa, se comprobó que el rendimiento de los estudiantes fue todavía superior a los de la primera condición experimental. Parece como si el mapa conceptual coloreado generase en la mente de los alumnos una ruta de aprendizaje que especificara una secuencia de códigos apropiada para trabajar en un cierto dominio de conocimiento; es decir, los mapas conceptuales-como organizadores previos-,ayudarían a los alumnos a adquirir un mejor conocimiento estructural del dominio, reforzados además por las pistas

dinámicas dadas por los colores. En definitiva, exponer a los estudiantes a una ruta óptima de aprendizaje claramente señalizada a través de mapas conceptuales, apoyaría la planificación y monitorización del mismo y les permitiría controlar entornos como las simulaciones. Esto no hace más que subrayar la importancia que tiene para el aprendizaje el presentar la información en forma de una estructura organizada y el no presentarla al azar (Glynn, Yeany y Britton, 1991).

Cada vez son más frecuentes los estudios que demuestran que los sujetos sacan partido al aprendizaje en entornos como las simulaciones solo si reciben algún tipo de apoyo (Alfieri, Brooks, Aldrich y Tenenbaum, 2011; Mayer, 2004). Los mapas conceptuales son instrumentos privilegiados en este sentido porque, como buenos organizadores previos, informan a los estudiantes del material a aprender y les facilitan vincular dicho material a lo ya aprendido. Si además transmiten la información en un formato de tipo visual, se comprenderá su efectividad como ayuda para el aprendizaje en entornos basados en simulaciones (Hagemans et. al., 2013). Aunque sabido es que las correlaciones no tienen por qué implicar explicaciones en términos causales, encontramos una correlación significativa en el nivel 0,05 entre el **número de relaciones correctas en el mapa conceptual y el rendimiento en la Simulación de PSICO-A** ( $p < .000$ ), así como entre el **número de conceptos en el mapa conceptual y el rendimiento en dicha Simulación** ( $p < .037$ ). Estos resultados podrían abonar la influencia beneficiosa ejercida por los mapas conceptuales sobre las simulaciones. Ya comentamos al inicio del capítulo cinco de esta Tesis la conexión entre modelos mentales y simulaciones. La isomorfía de la información tal y como es organizada en los mapas conceptuales y la representación simplificada de la misma tal y como puede ser organizada en una simulación, podría explicar la generación de modelos mentales muy aptos para el aprendizaje. En PSICO-A, la tarea exigida por la Simulación y la distribución de los parámetros en la misma se ajusta muy bien a los datos estudiados por los alumnos y a la elaboración de sus mapas conceptuales. En la línea de Forbus y Gentner (1997) o de Thomas y Neilson (1995), nosotros hemos diseñado para PSICO-A un entorno de simulación concebido como la

representación simplificada de un experimento real que permita a los alumnos desarrollar modelos mentales muy aptos para el aprendizaje de la unidad temática en cuestión. Más allá de consideraciones que aquí no vienen al caso sobre sistemas complejos, pensamos que una mínima parafernalia de elementos y de parámetros pueden ser más que suficientes para diseñar simulaciones que puedan dar cuenta de conductas bastante elaboradas (Nowak, 2004). Obviamente, también cuenta un principio de parsimonia pedagógica que no complique innecesariamente el acercamiento de los alumnos a estas herramientas de aprendizaje.

Si existió correlación entre elaboración de **mapas conceptuales** y **rendimiento en la Simulación** de PSICO-A, no se encontró tal **correlación entre mapas conceptuales y el Juego del Sistema**. Esto podría corroborar el que la mejor realización de los mapas conceptuales de PSICO-A por los alumnos del grupo GEII quedaría reflejada en las puntuaciones obtenidas en la Simulación, algo que no sucedería en el rendimiento promedio obtenido en el Juego por los sujetos del grupo GEI. De hecho, un ANOVA de un solo factor demostró que los sujetos del grupo GEII rindieron comparativamente mucho más en la Simulación que los alumnos del grupo GEI rindieron en el Juego ( $F_{(2,69)}=73,225$ ,  $p<.000$ ). Es verdad que la estructura del Juego es más abierta que la de la Simulación y exige una mayor habilidad visomotora pero, en cualquier caso, se verificó que los alumnos del grupo GEI cometían más errores en las pruebas teóricas insertadas entre las pantallas de ambos. El mejor desarrollo de los mapas conceptuales por parte del grupo GEII ha podido influir en su ventaja al respecto. De hecho, inspeccionando la inmensa mayoría de los mapas conceptuales de los sujetos del grupo GEII, allí encontramos que no falta ninguno de los conceptos claves (incentivo, fuerza de la respuesta, número de ensayos...) resaltados por el experimento de Crespi (1942), experimento que ha servido de base al diseño de la Simulación y del Juego en PSICO-A. Siendo comúnmente aceptado que los juegos son útiles para el aprendizaje debido a que implican entender y manipular numerosas variables (Greenfield, 2010), Charsky y Ressler (2011) han demostrado que los mapas conceptuales no parecen ser una herramienta efectiva para la mejora de la



motivación de los sujetos que participan en juegos computacionales. Previamente, Charsky y Mims (2008) habían sugerido que para que los juegos de ordenador sean útiles para la instrucción, necesitan ser complementados mediante actividades que ayuden a los alumnos a relacionar los juegos con el contenido teórico y, entre estas actividades, podría estar el diseño y la visualización de mapas conceptuales. En su experimento se propusieron examinar el efecto del uso de mapas conceptuales en el aprendizaje de conceptos de Historia a través del juego “Civilización III”. Dividieron una muestra de estudiantes norteamericanos de noveno grado en tres grupos: un grupo que, previamente al uso del juego, manipuló un mapa conceptual generado automáticamente, un segundo grupo que construyó sus propios mapas conceptuales y un grupo de control que no usó ningún mapa conceptual. Los sujetos que emplearon mapas conceptuales mostraron una motivación (evaluada en términos de confianza, satisfacción y atención) más baja en el juego que los alumnos del grupo control. Según los autores (art. cit., p. 604), los mapas conceptuales pueden reducir tal motivación porque centran demasiado la atención de los estudiantes en la dificultad intrínseca al aprendizaje conceptual y convierten el juego en una tarea menos autónoma, creativa y activa. En PSICO-A, el Juego está diseñado para ajustarse lo mejor posible a los contenidos del tema estudiado pero no se ha encontrado correlación entre el uso del mapa conceptual y el rendimiento de los estudiantes en el Juego.

### **4.3. HIPÓTESIS (c)**

*PSICO-A puede contribuir a elevar el nivel metacognitivo inicial de estudiantes adolescentes de Psicología.*

La hipótesis no ha sido confirmada. Por un lado, el **grado de confianza** es una medida subjetiva por lo que, a efectos analíticos, apenas puede decirnos algo. En ninguna de las pruebas realizadas hemos encontrado diferencias significativas, usando un ANOVA de un factor y un Tukey HSD, entre el grupo control o de educación tradicional GC y los grupos GEI y GEII. En ningún caso pareció existir una relación entre el grado de confianza expresado por los distintos grupos y las auténticas capacidades metacognitivas demostradas.

La **capacidad metacognitiva** de todos los grupos subió de manera considerable en la prueba de Diciembre con respecto al pre-tratamiento inicial de Septiembre. En Abril los resultados se estabilizaron, subiendo ligeramente las puntuaciones de todos los grupos. Ni los ANOVA de un factor ni los Test de Tukey practicados, permitieron encontrar diferencias significativas entre los grupos. En realidad, PSICO-A no está diseñado para controlar y aumentar el rendimiento metacognitivo de los estudiantes. Se limita, simplemente, a tener en cuenta este factor a través de una versión reducida del cuestionario metacognitivo del Modelo Global de la Metacognición de Mayor, Suengas y González Marqués. Su cuestionario de 10 preguntas ha ido siendo pasado en versiones similares a lo largo de las diversas pruebas, así como a través de PSICO-A. Aún cuando a los alumnos no se les entregaron los resultados ni se les insistió en la naturaleza de la medición aportada por ese cuestionario, es muy posible que los sujetos de los tres grupos hayan ido “aprendiendo” de aquella experiencia en los sucesivos test. En realidad, para configurar un sistema en el que se busque la medida y el control del factor metacognitivo, hay que introducir en el diseño aspectos tales como la presencia de protocolos de pensamiento interior expresado en voz alta, la vigilancia de las reacciones perceptivas y atencionales del alumno en el manejo del sistema (navegación y búsqueda de información a través del mismo), etc., cosa que en PSICO-A, a

diferencia de otros Sistemas basados en agentes como, por ejemplo, MetaTutor, no se da. En cualquier caso, parece evidente la falta de madurez metacognitiva en alumnos adolescentes y la necesidad de aumentarla en la escuela con la finalidad de que los resultados académicos mejoren.

## **CONCLUSIONES**

PSICO-A es un Sistema informático diseñado para la enseñanza de la Psicología a estudiantes de Educación Secundaria y de primeros cursos de la Universidad. Es un Sistema pionero en este ámbito que combina simulaciones, juegos digitales y diversas influencias pedagógicas. Tomando como referencia Sistemas basados en agentes como MetaTutor, Betty's Brain y REAL, es un Sistema de diseño modular que se inspira en la "teoría representacional" de Black, según la cual el conocimiento es mejor representado mediante imágenes y modelos mentales (Gentner) que configuran entornos virtuales de aprendizaje. A su vez, PSICO-A introduce herramientas didácticas de valía contrastada para la mejora del aprendizaje como los mapas conceptuales (Novak), la recuperación libre del recuerdo (Karpicke y Blunt), un mecanismo de "feedback" que combina las ventajas de la respuesta inmediata y diferida, la importancia que se concede a la metacognición a través de las ideas del Modelo Metacognitivo Global de Mayor, Suengas y González Marqués y la visión activa de la enseñanza, propia del paradigma constructivista (Ausubel).

En el plano del diseño computacional, PSICO-A también introduce aportaciones interesantes. En primer lugar, su arquitectura es modular con Modos que interactúan y que sirven para ir secuenciando las tareas a realizar por el alumno: dar cuenta de los conocimientos previos, recordar lo estudiado, manifestar la capacidad metacognitiva, construir conceptos, responder a preguntas teóricas, e interactuar con un Juego y una Simulación. Las posibilidades del profesor para recabar y analizar los datos procedentes de los alumnos son muy grandes, al disponer de un "back-end" que permite guardar la información de todas las pruebas (desde las puntuaciones conseguidas en el test metacognitivo hasta los segundos empleados en el tiempo de estudio, por ejemplo) y cuyo corazón es un motor de localización de conceptos escritos por el alumno en la prueba de recuerdo libre. Este motor combina medidas de distancia y de similaridad, como los algoritmos de Oliver, Levenshtein, Hamming y Porter, y los ensambla en ecuaciones booleanas que el profesor puede generar a capricho, buscando la máxima precisión en la búsqueda y selección o descarte de conceptos. Aparte de poder conservar los datos, PSICO-A permite imprimir las pantallas con los resultados y facilita otras

ayudas al profesor y a los alumnos a través de los Modos de Archivo y de Ayuda.

Aparte de la versión de escritorio, PSICO-A ha sido implementado en INTERNET, con todas las ventajas que esto supone: mayor visibilidad, mayor manejabilidad al evitar los problemas de capacidad de memoria y mayor facilidad de rediseño, al usar un lenguaje de programación específico para el diseño en la red, como lo es el lenguaje PHP5.

Hemos realizado una evaluación interna de nuestro Sistema, comparando el rendimiento en el aprendizaje de tres grupos de alumnos de Secundaria: un grupo control recibió la clase tradicional y los otros dos grupos experimentales manejaron PSICO-A (subdivididos, a su vez, en un grupo que interactuó con el Juego del Sistema y otro que solo pudo tener acceso a la Simulación). También procedimos a efectuar una evaluación externa que comprobase el valor motivacional de este Sistema. PSICO-A motivó a los alumnos y mejoró significativamente su rendimiento en muchos aspectos de su aprendizaje con respecto al procedimiento tradicional de enseñanza-aprendizaje o clase magistral con resolución de dudas. Esto quizá no debe sorprender dado que un Sistema informático que aúna numerosos componentes de una forma modular integrada (recuerdo libre, mapas conceptuales...), es bastante razonable que genere una mayor motivación en el alumnado y que ayude a mejorar su aprendizaje, facilitando su manejo de la información. El resultado, no obstante, tiene su relevancia, ya que, a nivel internacional, apenas existen sistemas concebidos para la enseñanza de la Psicología (a pesar de existir software específico para la enseñanza de ciertas parcelas como, por ejemplo, la del aprendizaje condicionado en ratas-véase *Sniffy*). También es llamativo el hecho de que podríamos haber encontrado una prueba indirecta que apoyase los resultados de aquellos investigadores que insisten en la relevancia de los mapas conceptuales como ayuda para mejorar el rendimiento en las simulaciones, frente al carácter más distractivo o más alejado de la formación de modelos mentales, que parecen tener los juegos.

Por lo tanto, PSICO-A parece ser una buena herramienta de trabajo para el aprendizaje porque combina poderosos instrumentos como son la práctica del recuerdo libre, el uso de mapas conceptuales y el uso de juegos o simulaciones y, a su vez, parece refrendar el interesante papel de los mapas conceptuales como catalizadores de un mejor rendimiento en las simulaciones. En un futuro inmediato, PSICO-A ha de poder mejorar su interfaz con el alumno y ha de dar acogida a una monitorización de su capacidad metacognitiva, así como también a cuestiones candentes en el diseño educativo actual, como las plataformas tecnológicas, las comunidades de aprendizaje o la Web semántica.

## **CONCLUSIONS**



In this Doctoral Dissertation we have presented a computational system, called PSICO-A, for teaching psychology. It is a pioneer educational system in the field, combining digital games and simulations. Programmed in PHP5 language, PSICO-A is a web based system and its computational architecture consists of a front-end and a back-end. The first contains a design mode for building concepts, a reflective mode, a game mode and a simulation mode. These modes are connected to the back-end, which is the core of the system and analyses the performance of the pupils using Boolean equations which introduce algorithms such as those of Oliver, Levenshtein, Hamming and Porter.

PSICO-A takes as a model recent and powerful computational educational systems like MetaTutor, Betty's Brain and REAL but its design is based on many pedagogical influences, such as representational theory by Black (introducing images and mental models-see Gentner-, as a representation of knowledge and virtual worlds for learning), conceptual maps by Novak, global metacognitive model by Mayor, Suengas and González Marqués, Karpicke and Blunt's findings about free retrieval practice for learning and, of course, the constructivist paradigm in education (Ausubel).

We conducted an external evaluation of the system and verified the motivational value of the system. Besides, it was conducted an internal evaluation comparing the learning outcomes of three groups corresponding to high-school students. Students in the first group were provided with text-based resources and the other experimental conditions involved students who worked in collaboration with PSICO-A (plus game or plus simulation). PSICO-A improved the learning and the combination between concept maps and simulation increased the performance of the pupils. But further studies are required. In a future, the system must be embedded within an augmented system including didactic platforms, learning communities and the impact of the Web 3.0.

## REFERENCIAS

- Afflerbach P (2000). Verbal reports and protocol analysis. En ML Kamil, PB Mosenthal, PD Pearson y R Barr (Eds.), *Handbook of reading research* (pp. 163-179). Mahwah, NJ: LEA.
- Aldrich C (2009). *Learning online with games, simulations, and virtual worlds*. San Francisco: John Wiley & Sons.
- Aleven V, McLaren B, Roll I y Koedinger K (2006). Toward meta-cognitive tutoring : A model of help seeking with a cognitive tutor tutoring. *IJAIED* 16, 1-128. DOI: <http://repository.cmu.edu/18>.
- Alfieri L, Brooks PJ, Aldrich NJ y Tenenbaum HR (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology* 103, 1-18. DOI: 10.1037/a0021017.
- Alloway T, Wilson G y Graham J (2005). *Sniffy. La rata virtual*. Madrid: Thomson.
- Alloway T, Wilson G y Graham J (2011). *Sniffy the virtual rat pro, version 3.0 (with CD-ROM)*. Belmont, CA: Wadsworth, Cengage Learning.
- Alonso J (2012). *Psicología. Bachillerato*. Madrid: McGraw-Hill.
- Ames C (1992). Classrooms: goals, structures, and student motivation. *Journal of Educational Psychology* 84, 261-271. DOI: [http://LAHDE\\_17.pdf](http://LAHDE_17.pdf).
- Anderson JR y Bower GH (1973). *Human associative memory*. Washington, DC: Winston.
- Ausubel DP (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. N. York: Grune & Stratton.
- Ausubel DP (1968). *Educational psychology: a cognitive view*. N. York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ausubel DP (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Ausubel DP, Novak J y Hanesian H (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Austin JT, Vancouver JB (1996). Goal constructs in psychology: structure, process, and content. *Psychology Bulletin* 120, 338–375.
- Azevedo R, Cromley JG y Seibert D (2004). Does adaptive scaffolding facilitate student's ability to regulate their learning with hypermedia? *Contemporanean Educational Psychology* 29, 344-370.

- Azevedo R, Witherspoon A, Chauncey A, Burkett C y Fike A (2009a). MetaTutor: a metacognitive tool for enhancing self-regulated learning. En R Pirrone, R Azevedo y G Biswas (Eds.), *Proceedings of the AAI Fall Symposium on Cognitive and Metacognitive Educational Systems*. Menlo Park, CA: AAAI Press. DOI: 995-4214-1-PB.pdf.
- Azevedo R, Witherspoon A, Graesser A, McNamara D, Chauncey, A, Siler, E, Cai, Z., Rus, V y Lintean, M (2009b). MetaTutor: analyzing self-regulated learning in a tutoring system for biology. En V Dimitrova, R Mizoguchi, B du Bolay y A Graesser (Eds.), *Building learning systems that care: from knowledge representation to affective modeling* (pp. 635-637). Amsterdam: IOS Press. DOI: <ftp://129.219.222.66/pdf/MetaTutor%%20Analyzing-%20Self-Regulated.pdf>.
- Bai X y Black J (2004). TALE :a teachable agent embedded in an intelligent tutoring system. En G Richards (Ed.), *Proceedings of World Conference on eLearning in Corporate Government, Healthcare, and Higher Education* (pp. 1070-1072). Chesapeake, VA: AACE. DOI:10.1.1.135.1024.pdf.
- Bai X y Black J (2005). REAL: a generic intelligent tutoring system framework. En C Crawford (Ed.), *Proceedings of Society for information technology and teacher Education international conference* (pp. 1279-1283). Chesapeake, VA: AACE.
- Bai X y Black JB (2011). Enhancing intelligent tutoring systems with the agent paradigm. En VVAA (Eds.), *Gaming and simulations: concepts, methodologies, tools and applications* (pp. 46-66). Londres: IGI Global.
- Bai X, Black JB, Vikaros L, Vitale J, Li D y Xia Q (2007a). Learning in one's own imaginary world. *American Educational Research Association*, Chicago: DOI: 10.1.1.135.1024 (1). Pdf.
- Bai X, Black JB y Vitale J (2007b). REAL: Learn with the assistance of a reflective agent. En R Axtell, G Fagiolo, S Kurihara, H Nakashima y AN Namatame (Eds.), *Agent-based systems for human learning and entertainment*. N. York: ACM.
- Barnes J y Underwood B (1959). "Fate" of first learned associations in transfer theory. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 97-105.
- Biswas G, Roscoe R, Jeong G y Sulcer B (2009). Promoting self-regulated learning skills in agent-based learning environments. En SC Kong (Ed.), *Proceed. of the 17<sup>th</sup> International Conference on Computers*

in Education. Hong Kong: APSCE. DOI: [http://wwwTeachableagents.org/papers/2009/Biswas\\_ICCE.pdf](http://wwwTeachableagents.org/papers/2009/Biswas_ICCE.pdf).

- Biswas G, Schwartz, DL, Leelawong K, Vye N y TAG-V (2005). Learning by teaching: a new agent paradigm for educational software. *Applied Artificial Intelligence*, 19, 363-392. DOI:10.1080/088395105909102.
- Black JB (1992). *Types of knowledge representation*. N. York: CCTE Report Teachers College, Columbia University.
- Black JB (2007). Imaginary worlds. En MA Gluck, JR Anderson y SM Kosslyn (Eds.), *Memory and mind*. Mahwah, NJ: LEA. DOI: Jblackl(2).doc.
- Black JB, Bower GH. 1980. Story understanding as problem-solving. *Poetics*, 9, 223-250.
- Borkowski JG, Turner L (1990). Transsituational characteristics of metacognition. En W Schneider y F Weinert (Eds.), *Interaction among aptitudes, strategies and knowledge in cognitive performance*. N. York: Springer-Verlag.
- Briggs G, Shamma DA, Cañas AJ, Carff R, Scargle J y Novak JD (2004). *Concept maps applied to Mars exploration public outreach*. En AJ Cañas, J Novak y F González (Eds.), *Concept maps: Theory, methodology, technology. Proceedings of the first international conference on concept mapping (Vol. I)* (pp. 109-116). Pamplona: UPN.
- Brown AL (1987). Metacognition, executive control, self-regulation, and other more mysterious mechanisms. En F. Weinert y R. Kluwe (Eds.), *Metacognition, motivation and understanding*. Hillsdale: LEA.
- Brown JS, Burton RB (1978). Diagnostic models for procedural bugs in basic mathematical skills. *Cognitive Science* 2, 155-192.
- Buckley BC, Gobert JD y Horwitz P (2006). Using log files to track students' model-based inquiry. En *Seventh International Conference of the Learning Sciences*. Bloomington, IN. DOI:[http://concord.org/sites/default/files/pdf/2006\\_buckley\\_icsl.pfd](http://concord.org/sites/default/files/pdf/2006_buckley_icsl.pfd).
- Butler AC, Roediger HL III (2007). Testing improves long-term retention in a simulated classroom setting. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19, 514-527. DOI: 10.1080/09541440701326097.
- Butterfield B, Metcalfe J (2001). Errors committed with high confidence are

hypercorrected. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 27, 1491-1494. DOI: 10.1037/02787393.27.6.1491.

- Byrnes MA, Spitz HH (1977). Performance of retarded adolescents and nonretarded children on the Tower of Hanoi problem. *American Journal of Mental Deficiency*, 81, 561-569.
- Cañas A (2004). CmapTools: a knowledge modelling and sharing environment. Pamplona: UPN. DOI: <http://cmc.us/paper/c2004.pdf>.
- Carroll J (2008). Using personality and learning assessments as a metacognitive icebreaker activity in the online classroom. *Online Classroom*, 1, 5-7.
- Carver CS y Scheier MF (2000). *Perspectives on personality*. Boston: Allyn and Bacon.
- Chan MS y Black JB (2006). Learning newtonian mechanics with an animation game: the role of presentation format on mental model acquisition. *American Education Research Association Annual Meeting*. San Francisco, CA. DOI: 10.1.1.169.3864.pdf.
- Charsky D, Mims C (2008). Integrating commercial off-the-shelf video games into school curriculums. *TechTrends*, 52, 38-44.
- Charsky D, Ressler W (2011). Games are made for fun: lessons on the effect of concept maps in the classroom use of computer games. *Computers & Education*, 56, 604-615.
- Charte F (2005). *PHP5*. Madrid: Anaya.
- Clark DB, Nelson B, Sengupta P y D'Angelo C (2009). Rethinking science learning through digital games and simulations: genres, examples, and evidence. *National Research Council Workshop on Gaming and Simulations*, Washington, DC, DOI: [http://www7.nationalacademies.org/bose/Gaming\\_Commissioned\\_Papers.html](http://www7.nationalacademies.org/bose/Gaming_Commissioned_Papers.html).
- Cleeremans A y Jiménez L (2002). Implicit learning and consciousness: a graded, dynamic perspective. En RM French y A Cleeremans (Eds.), *Implicit learning and consciousness* (pp. 1-40). Hove, UK: Psychology Press.
- Collins AM, Gentner D (1983). How people construct mental models. En D Gentner y AL Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 1-6). Hillsdale, NJ: LEA.

- Collins AM y Loftus EF (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407-428.
- Collins AM y Quillian MR (1969). Retrieval time from semantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 8, 240-247.
- Colom R, Quiroga MA, Solana AB, Burgaleta M, Román, FJ, Privado, J, Escorial, S, Martínez, K, Álvarez-Linera, J, Alfayete, E, García, F, Lepage C, Hernández-Tamames, JA y Karama S (2012). Structural changes after videogame practice related to a brain network associated with intelligence, *Intelligence*, 40, 479-489. DOI: 10.1016/j.intell.2012.05.004.
- Conati C y VanLehn K (2000). Toward computer-based support of metacognitive skills: a computational framework to coach self-explanation. *IJAIED* 11, 389-415. DOI: <http://www.public.asu.edu/~kvanlehn/Stringent/PDF>.
- Cooper R y Shallice T (2000). Contention scheduling and the control of routine activities. *Cog Neuropsychol*, 17, 297-338. DOI: 10.1.1.123.2689.pdf.
- Coutinho C (2007). The relationship between goals, metacognition, and academic success. *Educate~*, 7, 39-47. DOI: 116-619-1-PB.pdf.
- Cox MT (2005). Metacognition in Computation: A selected research review. *Artificial Intelligence*, 169, 104-141. DOI: 10.1.1.105.8914.pdf.
- Craik K (1943). *The nature of explanation*. Cambridge: CUP.
- Crespi LP (1942). Quantitative variation of incentive and performance in the white rat, *The American Journal of Psychology*, 55, 467-517.
- Dante, 1922. *La Divina Comedia / de Dante Alighieri*. B. Aires: CC Latium
- Davis JM, Leelawong K, Belyne, K, Biswas G, Vye N, Bodenheimer R y Bransford J (2003). Intelligent user interface design for teachable agent systems, ICIUI, pp. 26-33, Miami FL. DOI: 10.1.1.14.8457.pdf.
- De Kleer J y Brown J (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. En D Gentner y AL Stevens (Eds.), *Mental models* (pp.155-190). Hillsdale, NJ, LEA
- Desoete A, Roeyers H y Buysse A (2001). Metacognition and mathematical problem solving in grade 3. *Journal of Learning Disabilities* 34, 435-449. DOI: <http://cimm.ucr.sc/resolucionproblemas/PDF/Ann.pdf>.

- Dewey J (1938). *Experience and education*. N. York: Kappa Delta Pi.
- Doménech M (2004). El papel de la inteligencia y de la metacognición en la resolución de problemas. U. Rovira i Virgili. Departamento Psicología. DOI: <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8598/TesiteliMontseDomenech.pdf>.
- Dougherty MR (2001). Integration of the ecological and error models of overconfidence using a multiple-trace memory model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 579-599. DOI: 10.1037/0096-3445.130.4579.
- Drever E (1997). Using semi-structured interviews in small-scale research. Edimburgo: The Scottish Council for Research in Education.
- Dunlosky J y Metcalfe J (2008). *Metacognition*, Londres: SAGE.
- Edelson DC, Gordin DN y Pea R (1999). Addressing the challenges of inquiry-based learning through technology and curriculum design. *Journal of Learning Sciences*, 8: 391-450. DOI:<http://www.worldwatcher.northwestern.edu/userdownloads/JLSEdelsonetal.pdf>.
- Elliot AJ (1997). Integrating “classic” and “contemporary” approaches to achievement motivation: A hierarchical model of approach and avoidance. En P Pintrich y M Maehr (Eds.), *Advances in motivation and achievement* (pp. 143-179). Greenwich, CT: JAI Press. DOI:[http://www.psych.rochester.edu/research/apav/publications/documents/1997\\_Elliot\\_pdf](http://www.psych.rochester.edu/research/apav/publications/documents/1997_Elliot_pdf).
- Estrella P y Duboue P A (2005). Experiments on language normalization for spanish to english machine translation, *RIIA*, 9, 23-37. DOI: <http://dx.doi.org/10.4114/IA.V9I26.843>.
- Falmagne JC, Albert D, Doble C, Eppstein D. y Hu, X (Eds.). (2013). *Knowledge spaces: applications in education*. Berlín: Springer-Verlag.
- Fang A y Cox BE (1999). Emergent metacognition: A study of preschoolers' literate behaviour. *J of Research on Children Educ*, 13, 172-178.
- Farah MJ (1984). The neurological basis of mental imagery: a componential analysis. *Cognition*, 18, 245-272.
- Fernández MP, Jiménez V, Alvarado J y Puente A (2010). La escala de conciencia lectora (ESCOLA): un instrumento para evaluar metacognición y funciones ejecutivas en tareas de lectura. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 10, 95-116. DOI: <file:///C:/Users/5732/Downloads/Dialnet-LaEscalaDeConcienciaLectoraES>



- Fernández-Montraveta A y Vázquez G (2006). La construcción del WordNet 3.0 en español. Barcelona: MEC Ciencia (HUM2006-27968-E). DOI: <http://grial.uab.es/archivos/creacion%20wordnet%20malaga.pdf>.
- Finke RA (1980). Levels of equivalence in imagery and perception. *Psychological Review*, 87, 113-132.
- Finn B y Metcalfe J (2010). Scaffolding feedback to maximize long term error Correction. *Memory & Cognition*, 38, 951-961.
- Flavell JH (1963). *The developmental psychology of Jean Piaget*. New York: D. Van Nostrand.
- Flavell JH (1979). Metacognition and cognitive monitoring. *American Psychologist*, 34, 906-911.
- Flavell JH (1981). Cognitive monitoring. En W Dickson (Ed.), *Children's oral communications skills*. N. York: Academic.
- Flavell JH y Wellman H (1977). Metamemory. En R Kail y J Hagen (Eds.) *Perspectives on the development of memory and cognition*. Hillsdale NJ: LEA
- Forbus K (1984). Qualitative process theory. MIT AI Lab. DOI: <http://www.qrg.northwestern.edu/papers/Files/QPT-PHD.pdf>.
- Forbus K y Gentner D (1997). Qualitative mental models: simulations or memories? *Proceedings of the 11th Workshop on Qualitative Reasoning*, 1-8.
- Ford DL y Lerner RM (1992). Developmental systems theory: an integrative approach. Newbury Park, CA: Sage.
- Fortunato I, Hecht D, Tittle CK, Alvarez L (1991). Metacognition and problem solving. *Arithmetic Teacher*, 39, 38-40.
- Franklin G, Powell J, Abbas E (1994). *Feedback control of dynamic systems*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Friedman-Hill E (2003). *Jess in action: Java-rule based systems*. Greenwich, Connecticut: Manning Publications.
- Funt BV (1980). Problem-solving with diagrammatic representations. *Artificial Intelligence*, 13, 201-230.
- Gagné RM, Briggs LJ y Wager WW (1992). *Principles of instructional design*.

Forth Worth, TX: Harcourt Brace Jovanovich.

- Gama C (2004). Integrating metacognition in interactive learning environments: The Reflection Assistant Model (Tesis Doctoral, Universidad de Sussex, 2004).
- García E (1996). Inteligencia y metaconducta. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 50, 297-312.
- Gartner A, Conway M y Riessman F (1971). *Children teach children. Learning by teaching*. N. York: Harper & Row.
- Gee JP (2007). *What video games have to teach us about learning and literacy*. N. York: Palgrave Macmillan.
- Gentner D (1983). Structure-mapping: a theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Gentner D y Stevens AL (1983). Introduction. En D Gentner y AL Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 1-6). Hillsdale, NJ: LEA.
- Gigerenzer G (1991). How to make cognitive illusions disappear: beyond "heuristics and biases". *European Review of Social Psychology*, 2, 83-115. DOI:[http://library.mpib-berlin.mpg.de/ft/gg/gg\\_-1991.pdf](http://library.mpib-berlin.mpg.de/ft/gg/gg_-1991.pdf).
- Glynn SM, Yeany BK y Britton RH (Eds.). (1991). *The psychology of learning science*. Londres: Routledge.
- Goldberg E (2001). *The executive brain: frontal lobes and the civilized mind*. N. York: Oxford University Press.
- Gollwitzer PM (1993). Goal achievement: the role of intentions. *European Review of Social Psychology*, 4, 141-185. DOI: [http://www.psych.nyu.edu/gollwitzer/93\\_Gollwitzer\\_Goal-1.pdf](http://www.psych.nyu.edu/gollwitzer/93_Gollwitzer_Goal-1.pdf).
- González Marqués J, Pelta C (2010). Implementation intentions and artificial agents, *IJP & PT*, 10, 41-53.
- González Marqués J, Pelta C (2013). PSICO-A: A computational system for learning psychology. *IJMecs*, 5, 1-8. DOI:10.5815/ijmecs.2013.10.01.
- Gosling J (1995). Java: an overview. DOI:<http://www.cs.dartmouth.edu/mckee man/118/OriginalJavaWhitepaper.pdf>.
- Graesser AC, Wiemer K, Hastings P, Harter D, Person J y TRG (2000). Using latent semantic analysis to evaluate the contributions of students in AutoTutor. *Interactive Learning Environments*, 8, 129-148. DOI:<http://www.memphis.edu/psychology/graesser/pdf>.

- Graham J, Alloway T y Krames L (1994). Sniffy, the virtual rat: simulated operant conditioning. *Behavior Research Methods, Instrum., & Computers*, 26, 134-141. DOI:<http://link.springer.com/content/pdf/10.3758%2F03204606.pdf>.
- Gredler ME (2004). Games and Simulations and their relationships to learning. En D Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology*. Mahwah, NJ: LEA.
- Greenfield PM (2010). Video games revisited. En R van Eck (Ed.), *Gaming and cognition : theories and perspectives from the learning sciences*, (pp. 1-21). Hershey, PA : IGI Global.
- Grzega J y Schöner M (2008).The didactic model Ldl(Lernen durch Lehren) as a way of preparing students for communication in a knowledge society. *Journal of Education for Teaching*, 34, 167-175. DOI: <http://www.joachim-grzega.de/GrzegaSchoener-LdL.pdf>.
- Gupta R, Wu Y y Biswas G (2005). Teaching about dynamic processes: a Teachable Agents approach.En C-K Looi (Ed.), *Artificial Intelligence in Education*. Amsterdam: IOS Press. DOI: <http://www.compassproject.net/Sadhana/teaching/readings/biswasaid.pdf>.
- Hacker DJ, Dunlosky J y Graesser AC (Eds.). (2009). *Handbook of metacognition in education*. Londres: Routledge.
- Hagemans MG, van der Meij H y de Jong T (2013). The effects of a concept map-based support tool on simulation-based inquiry learning. *Journal of Educational Psychology*, 105, 1-24.
- Haier RJ, Colom R, Schroeder DH, Condon CA, Tang C, Eaves E y Head K (2009). Gray matter and intelligence factors: is there a neuro-g? *Intelligence*, 37, 136–144.
- Hamming RW (1950). Error detecting and error correcting codes,*Bell System Technical Journal*, 29, 147-160. DOI:<http://www.lee.eng.uerj.br/gil/re-desII/hamming.pdf>.
- Hancock TE, Stock WA y Kulhavy RW (1992).Predicting feedback effects from response-certitude estimates. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 30: 173-176.
- Harackiewicz JM, Barron KE y Elliot AJ (1998). Rethinking achievement goals *Educational Research*, 33. DOI :[http://www.psych.rochester.edu/search/apav/publications/1998\\_HarackiewiczBarronElliot\\_Rethinkingachievementgoals.pdf](http://www.psych.rochester.edu/search/apav/publications/1998_HarackiewiczBarronElliot_Rethinkingachievementgoals.pdf).
- Heckhausen H (1991). *Motivation and action*. N. York: Springer-Verlag.

- Heckhausen H y Kuhl J. 1985. From wishes to action: The dead ends and shortcuts on the long way to action. En M Frese y J Sabini (Eds.), *Goal-directed behaviour: the concept of action in psychology*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Hilgard ER y Bower GH (1973). *Teorías del aprendizaje*. México: Trillas.
- Holyoak KJ (1984). Analogical thinking and human intelligence. En RJ Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (pp. 199-230). Hillsdale, NJ: LEA.
- Holyoak KJ y Glass AL (1975). The role of contradictions and counterexamples in the rejection of false sentences. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 4, 215-239.
- Hull CL (1935). The conflicting psychologies of learning- a way out. *Psychological Review*, 42, 491-516. DOI:<http://psychclassics.yorku.ca/Hull/Conflict/>.
- Hull CL (1943). *Principles of behavior: an introduction to behavior theory*. Oxford: Appleton-Century.
- Hull CL (1951). *Essentials of behavior*. N. Haven, CT: Yale University Press.
- Hull CL (1952). *A behavior system: an introduction to behavior theory concerning the individual organism*. N. Haven, CT: Yale University Press.
- James W. 1890. *The principles of psychology*, 2 vols. N. York: Dover.
- Jiménez V (2004). Metacognición y comprensión de la lectura: evaluación de los componentes estratégicos (procesos y variables) mediante la elaboración de una escala de conciencia lectora (ESCOLA) (Tesis Doctoral UCM. DOI:<http://biblioteca.ucm.es/tesis/psi/ucm-27494.pdf>).
- Jiménez V, Puente A, Alvarado J y Arrebillaga L (2009). Medición de estrategias Metacognitivas mediante la Escala de Conciencia Lectora: ESCOLA. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 7, 779-804. DOI: <http://www.redalyc.org/pdf/2931/293121945010.pdf>.
- Johnson-Laird PN (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of Language, inference, and consciousness*. Harvard: HUP.
- Johnson-Laird PN (1989). Mental models. *Journal of Computer-Based Instruction*, 29, 86-94.

- Jonassen DH y Reeves TC (1996). Learning with technology: Using computers as cognitive tools. En DH Jonassen (Ed.) *Handbook of research on educational communications and technology*. Mahwah, NJ: LEA.
- Jong T de y van Joolingen WR (2004). Model-facilitated learning. En DH Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology*. Mahwah, NJ: LEA.
- Jorge-Botana G, Olmos R y León JA (2009). Using LSA and the predication algorithm to improve extraction of meanings from a diagnostic corpus. *Spanish Journal of Psychology*, 12, 424-440.
- Juul J (2003). The game, the player, the world: Looking for a heart of gameness. En M Copier y J Raessens (Eds.), *Level up: Digital Games Research* (pp. 30-45). Utrecht: Utrecht University. DOI: <http://www.jesperjuul.net/text/gameplayerworld/>.
- Karpicke JD y Blunt JR (2011). Retrieval practice produces more learning than elaborative studying with concept mapping, *Science*, 331, 772-775. DOI:<http://dx.doi.org/10.1126/science.1199327>.
- Katz D y Kahn RL (1978). *The social psychology of organizations*. N. York: Wiley.
- Kinnebrew JS, Biswas G y Sulcer B (2010). Modeling and measuring self-regulated learning in Teachable Agent environments. Association for the Advancement of Artificial Intelligence. DOI:<http://www.teachableagents.org/papers/2010/Kinnebrew.AAAI.pdf>.
- Kinnunen R y Vauras M (1995). Comprehension monitoring and the level of comprehension in high- and low-achieving primary school children's reading. *Learning and Instruction*, 5, 143-165.
- Kosslyn, SM (1973). Scanning visual images: Some structural implications. *Perception and Psychophysics*, 14, 90-94.
- Kosslyn SM (1980). Les images mentales. *La Recherche*, 11, 156-163.
- Kosslyn SM (1981). The medium and the message in mental imagery: a theory. *Psychological Review*, 1, 45-66.
- Kruglanski AW (1996). Motivated social cognition: principles of the interface. En E Higgins y AW Kruglanski (Eds.), *Social psychology: Handbook of basic principles* (pp. 493-520). N. York: Guilford.
- Kuhn D (1989). Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96, 674-689.

- Kuhn D, Black JB, Kesselman A y Kaplan D (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18, 495-523. DOI:<http://www.u.arizona.edu/rgolden.pdf>.
- Leelawong K, Biswas G (2008). Designing learning by teaching agents: The Betty's Brain System. *IJAIED*, 18, 181-208. DOI: [http://ijaied.org/pub/997/file/997\\_Biswas08.pdf](http://ijaied.org/pub/997/file/997_Biswas08.pdf).
- Lerdorf R, Tatroe K y MacIntyre P (2006). *Programming PHP*. N. York: O' Reilly Media.
- Levenshtein V (1966). Binary codes capable of correcting deletions, insertions and reversals. *Soviet Physics Doklady*, 10,707-710. DOI:<http://profs.sci.univr.it/~liptak/ALBioinfo/fil/levenshtein66.pdf>.
- Lichtenstein S, Fischhoff B, Phillips LD (1982). Calibration of probabilities: the state of the art to 1980. En D Kahneman, P Slovic y A Tversky (Eds.), *Judgment under uncertainty: heuristics and biases* (pp. 306-334). Cambridge: CUP.
- Linn JG, Segedy J, Jeong H, Podgursky B y Biswas G (2009). A reconfigurable architecture for building Intelligent Learning Environments. *Proceedings of the 2009 conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2009)*, pp. 115-122. Amsterdam: IOS Press.
- Martínez L y García E (2002). Programme for the improvement of metamemory in people with medium and mild mental retardation, *Psychology in Spain*, 6, 96-101. DOI: <http://www.psychologyinspain.com/content/full/2002/6009.pdf>.
- Maturana H y Varela F (1973). *De máquinas y seres vivos: una teoría sobre la organización biológica*. Santiago, Chile: Editorial Universitaria.
- Mayer RE (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning. *American Psychologist*, 59, 14-19. DOI:10.1037/0003-066X.59.1.14.
- Mayor J (1990). Modelos de la mente y modelos mentales. En *Modelos de la mente*. Madrid: Universidad Complutense.
- Mayor J y Moñivas A (1992). La representación del conocimiento II: las imágenes mentales. En J Mayor y JL Pinillos (Eds.), *Tratado de psicología (Vol. 4): Memoria y representación*. Madrid: Alhambra Longman.

- Mayor J, Suengas A y González Marqués J (1993). *Estrategias metacognitivas: aprender a aprender y aprender a pensar*. Madrid: Síntesis.
- Metcalf J y Kornell N (2007). Principles of cognitive science in education: the effects of generation, errors and feedback. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14: 225-229.
- Metcalf J, Kornell N y Finn B (2009). Delayed versus immediate feedback in children's and adult's vocabulary learning. *Memory & Cognition*, 37:1077-1087. DOI: <http://www.columbia.edu/cu/psychology/metcalf/PDFs/MetcalfKornellFinn2009.pdf>.
- Miller M y Dollard J (1941). *Social learning and imitation*. N. Haven, CT: Yale University Press.
- Miller GA, Galanter E y Pribram K (1960). *Plans and the structure of behavior*. N. York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Nelson TO (1996). Consciousness and metacognition. *American Psychologist*, 51, 102-116.
- Nelson TO y Narens L (1980). A new technique for investigating the feeling of knowing, *Acta Psychologica*, 46, 69-80.
- Nelson TO y Narens L (1990). Metamemory: a theoretical framework and new findings. En G Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*. N. York: Academic.
- Nelson TO y Narens L (1994). Why investigate metacognition? En J Metcalfe y A Shimamura (Eds.) *Metacognition: knowing about knowing* (pp. 1-25). Cambridge, MA: MIT Press. DOI: [http://Aris.ss.uci.edu/lnarens/1994/Nelson&Narens\\_Book%20\\_1994.pdf](http://Aris.ss.uci.edu/lnarens/1994/Nelson&Narens_Book%20_1994.pdf).
- Newell A y Simon HA (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice- Hall.
- Novak J (1977). *A theory of education*. Ithaca, N. York: Cornell University Press.
- Novak J (1998). *Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools for schools and corporations*. Mahwah, N.J.: LEA.
- Novak J (2005). Results and implications of a 12-year longitudinal study of science concept learning. *Research in Science Education*, 35, 23-40. DOI: <http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1GNLG695S-2426TTVMC-PDF>.

- Novak J y Gowin D (1984). *Learning how to learn*. Cambridge: CUP.
- Nowak A (2004). Dynamical minimalism: why less is more in psychology. *Personality and Social Psychology Review*, 8, 183:192.
- Oliver I (1994). *Programming classics: implementing the world's best algorithms*. Upper-Saddle River. N. York: Prentice-Hall.
- Paivio A (1971). *Imagery and verbal processes*. N. York: Holt, Rinehart, and Winston.
- Paivio A (1978). Comparisons of mental clocks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 61-71.
- Papert S (1980). *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. N. York: Basic Books.
- Pashler H, Cepeda NJ, Wixted JT y Rohrer D (2005). When does feedback facilitate learning of words? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 31, 3-8. DOI: 10.1037/0278-7393.3.
- Pelta C (2007). Metacognición, intenciones y agentes artificiales. DEA, Madrid: UCM.
- Piaget J (1929). *The child's conception of the world*. Londres: Routledge and Kegan Paul.
- Piaget J (1966). The psychology of intelligence and education. *Childhood Education*, 42, 528-549.
- Piaget J (1976). *The child and reality: problems of genetic psychology*. N. York: Penguin Books.
- Pintrich PR (1989). The dynamic interplay of student motivation and cognition in the college classroom. En ML Maehr y C Ames (Eds.). *Advances in motivation and achievement: motivation-enhancing environments* (pp. 117-160). Greenwich, CT: JAI.
- Pintrich PR (2000). The role of goal orientation in self-regulated learning. En M Boekaerts, PR Pintrich y M Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation* (pp. 451-502). San Diego, CA: Academic.
- Porter MF (1980). An algorithm for suffix stripping. *Program*, 14, 130-137. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/eb046814>.
- Powers W (1978). Quantitative analysis of purposive systems: some spadework at the foundation of scientific psychology. *Psychological Review*, 85, 417-435. DOI: <http://www.pctwe.org/Ppowers1978.pdf>.



- Prensky M (2007). *Digital game-based learning*. Northampton, UK: Paragon House.
- Pressey SL (1926). A simple apparatus which gives tests and scores and teaches. *School & Society*, 23, 373-376.
- Pressey SL (1950). Development and appraisal of devices providing immediate automatic scoring of objective tests and concomitant self-instruction. *Psychology*, 29, 417-477.
- Puente A, Jiménez V y Llopis C. (2012). *Silvia explora estrategias metacognitivas. El viaje de Silvia*. Madrid: CEPE.
- Puntambekar S (1995). Helping students learn 'how to learn' from texts: towards an ITS for developing metacognition. *Instructional Science*, 23, 163-182.
- Ruiz-Primo MA y Shavelson RJ (1996). Problems and issues in the use of concept maps in science assessment, *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 569-600.
- Ruíz-Vargas JM (2010). *Manual de psicología de la memoria*. Madrid: Síntesis.
- Rus V, Lintean M y Azevedo R (2010). Computational aspects of the intelligent tutoring system MetaTutor. En *Proceedings of the Twenty-Third International Florida Artificial Intelligence*, ed. Research Society Conference (FLAIRS 2010). DOI: 1318-7822-1-PB(2).pdf.
- Sáinz FJ y González Marqués J (1992). *Tratado de Psicología General. Memoria y representación. Esquemas y guiones (Vol. 4)*, pp. 307-374). Madrid: Alhambra Longman.
- Sáinz FJ, González Marqués J y Mayor J (1988). Efectos de contexto y de congruencia semántica en juicios comparativos. *Cognitiva*, 1, 245-269.
- Samsonovich AV (2009). The Constructor metacognitive architecture. En AV Samsonovich (Ed.), *Biologically Inspired Cognitive Architectures II: Papers from the AAAI Fall Symposium (FS-09-01)*. DOI: 999-42721PB.pdf.
- Sánchez J y Aranda D (2009). *Aprovecha el tiempo y juega. Algunas claves para entender los videojuegos*. Barcelona: UOC.
- Sandi-Ureña G (2008). Design and validation of a multimethod assessment of metacognition and study of the effectiveness of metacognitive interventions. Clemson, South Carolina: Clemson University.

- Scalise K y Wilson M (2012). Assessment in game-based learning. En D Ifenthaler, D Eseryel y G Xun (Eds.), *Measurement principles for gaming. Foundations, innovations, and perspectives* (pp. 287-317). N. York: Springer-Verlag.
- Schank R y Abelson R (1977). *Scripts, plans, goals, and understanding: an inquiry into human knowledge structure*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Schultz DP y Schultz SE (1987). *A history of modern psychology*. Orlando, FL: Harcourt-Brace.
- Schraw G y Sperling R (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19, 460-475. DOI:<http://wiki.biologyscholars.org/scholars.org/api/deki/files/99/>.
- Schwartz DL y Black JB (1996). Shuttling between depictive models and abstract rules: Induction and fallback. *Cognitive Science*, 20, 457-497.
- Semerari A, Carcione A, Dimaggio G, Falcone M, Nicolò G, Procacci M y Alleva G (2003). How to evaluate metacognitive function in psychotherapy? The metacognition assessment scale and its applications. *Clinical Psychology and Psychotherapy*, 10, 238-261.
- Séneca L (2013). *Epístolas morales a Lucilio. Obra completa*. Madrid:Gredos.
- Sengupta P y Wilensky U (2008). Learning electricity with NIELS: thinking with electrons and thinking in levels. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 14,25-50. DOI:<http://c.northwestern.edu/papers/2009/Sengupta&WilenskyLearningElectric.pdf>.
- Shallice T (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 298, 199-209. DOI: 10.1098/rstb.1982.0082.
- Skinner BF (1958). Teaching machines. *Science*, 128, 969-977.
- Slamecka NJ y Graf P (1978). The generation effect: delineation of a phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 4, 592-604. DOI:10.1037/0278-7393.4.6.592.
- Sleeman D y Brown JS (Eds.). (1982). *Intelligent Tutoring Systems*, Londres: Academic Press.
- Steinhart R (2001). Summary Street: an intelligent tutoring system for improving student writing through the use of latent semantic analysis. DOI:<http://lsa.colorado.edu/papers/daveDissertat.pdf>.

- Tan J, Beers C, Gupta R y Biswas G (2005). Computer games as intelligent learning environments: a river ecosystem adventure. En C-K Looi (Ed.), *Artificial Intelligence in Education*. Amsterdam: IOS Press. DOI: 10.1.1.59.7894.pdf.
- Tarski A (1956). *Logic, semantics, metamathematics. Papers from 1923 to 1938*. Oxford: Clarendon Press.
- Thomas GP (2003). Conceptualisation, development and validation of an instrument for evaluating the metacognitive orientation of science classroom learning environments: the Metacognitive Orientation Learning Environment Scale-Science (MOLES-S). *Learning Environments Research*, 6, 175-197. DOI: 10.1023/A:1024943103341.
- Thomas R y Neilson I (1995). Harnessing simulations in the service of education: the interact simulation environment. *Computers & Education*, 25, 21-29.
- Tobias S y Everson H (2002). Knowing what you know and what you don't: further research on metacognitive knowledge monitoring. N.York: College Board. DOI:<http://02-3-metacognitive-knowledge-monit.pdf>.
- Turing AM. 1950. Computing machinery and intelligence. *Mind*, 49, 433-460.
- Tversky A y Kahneman D (1974). Judgment under uncertainty: heuristics and biases, *Science* 185, 1124-113. DOI:[http://7psiexp.ss.uci.edu/research/teaching/Tversky\\_Kahneman\\_1974.pdf](http://7psiexp.ss.uci.edu/research/teaching/Tversky_Kahneman_1974.pdf).
- Urretavizcaya M (2001). Sistemas inteligentes en el ámbito de la educación, *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 5, 5-12. DOI: <http://polar.lsi.uned.es/revista/index.php/ia/article/viewFile/292/278>.
- Van Hout-Wolters B (2000). Assessing active self-directed learning. En R Simons, J van der Linden y T. Duffy (Eds.), *New learning* (pp. 83-101). Dordrecht: Kluwer.
- Varela F (1990). Learning principles gleaned from biological networks. En T. Schmidt (Ed.), *Gedächtnis: probleme und perspektiven der interdisziplinären Forschungs* (pp. 159-169). Frankfurt: Suhrkamp.
- Veenman MVJ (2005). The assessment of metacognitive skills: what can be learned from multimethod designs? En C Artelt y B Moschner (Eds.), *Lernstrategien und metakognition: implikationen für forschung und praxis* (pp. 75-97). Berlin: Waxmann.
- Veenman MVJ y Spaans MA (2005). Relation between intellectual and

- metacognitive skills: age and task difference. *Learning and Individual Differences*, 15, 159-176.
- Veenman MVJ, Van Hout-Wolters B y Afflerbach P (2006). Metacognition and learning: conceptual and methodological considerations. *Learning*, 1, 3-14. DOI: 10.1007/s11409-006-6893-0.
- Vosniadou S y Brewer WF (1992). Mental models of the earth: a study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vygotsky L (1932/1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. México: Grijalbo.
- Wellman HM (1985). The origins of metacognition. En DL Forrest-Pressley, G McKinnon y T Waller (Eds.), *Metacognition, cognition and human performance*. N. York: Academic.
- White BY (1995). The ThinkerTools project: computer microworlds as conceptual tools for facilitating scientific inquiry. En S Glynn y R Duit (Eds.), *Learning science in the schools: research reforming practice* (pp. 201-227). Hillsdale, NJ: LEA.
- White BY y Frederiksen JR (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16, 3-118.
- Whitton N (2010). *Learning with digital games. A practical guide to engaging students in higher education*. N. York: Routledge.
- Wiener N (1948). *Cybernetics or control and communications in the animal and the machine*. Cambridge: MIT Press.
- Winne PH y Hadwin AF (2008). The weave of motivation and self-regulated learning. En DH Schunk y BJ Zimmerman (Eds.) *Motivation and self-regulated learning: theory, research, and application* (pp. 297-314). N. York: Routledge.
- Zavaleta JJ y Vasconcelos de Andrade LC (2003). *Sistemas Tutores Inteligentes*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. DOI: <http://www.cos.ufrj.br/-ines/courses/cos740/leila/cos740/STI.pdf>.
- Zhang J, Cheung B y Hui L (2001). An intelligent tutoring system: SmartTutor. En *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2001 (ED-MEDIA 2001)* (pp. 2130-31). Finlandia.
- Zimmerman BJ (1990). Self-regulated learning and academic achievement: an

overview. *Educational Psychologist*, 25, 3-17.

- Zimmerman BJ (2000). Attaining self-regulation: a social cognitive perspective. En M. Boekaerts, PR Pintrich y M Zeidner (Eds.), *Handbook of self-regulation*. San Diego, CA: Academic Press.
- Zimmerman B (2008). Investigating self-regulation and motivation: historical background, methodological developments, and future prospects. *American Educational Research Journal*, 45, 166-183.
- Zimmerman BJ y Schunk DH (Eds.). 1989. *Self-regulated learning and academic achievement: Theory, research and practice*. N.York:Springer-Verlag.
- Zimmerman BJ y Martinez-Pons M (1990). Student differences in self-regulated learning: Relating grade, sex, and giftedness to self-efficacy and strategy use. *Journal of Educational Psychology*, 82, 51-59. DOI:79e41512c2ef708a73.pdf.

## **ANEXO 1**

## MODO DE JUEGO

En el Modo de Juego aparece Mousi, una ratita blanca que recorre un laberinto desde un lugar de salida hasta un lugar de llegada o meta. A lo largo del laberinto, el alumno ha de conducir a Mousi a alimentarse de una serie de incentivos o bolitas coloreadas con las cifras 16, 64 y 256, recibiendo los puntos indicados (tanto los incentivos, como las velocidades y el número de ensayos respetan los parámetros del experimento de Crespi, 1942). Según vaya alimentándose de las bolitas con mayor valor, la velocidad de Mousi aumentará hacia la obtención de su objetivo final, que es alcanzar la meta y así pasar a un siguiente nivel, habiendo conseguido 300 puntos de recompensa. Una trampa móvil se dirige hacia Mousi y Mousi debe evitarla. Si no lo consigue, Mousi queda encerrada durante unos segundos y recibe una penalización que reduce en 50 puntos aquellos puntos que ha ido consiguiendo. Una vez cumplida la penalización, Mousi, que ha pasado unos segundos de privación, se reactiva a mayor velocidad que la anterior. En el caso de que Mousi sea atrapada una segunda vez en el mismo laberinto, deberá volver al punto de partida. Si Mousi llega a la meta, para pasar de nivel ha de solucionar adecuadamente una actividad de conexión de conceptos mediante flechas, recibiendo una recompensa de 100 puntos una vez resuelta correctamente. Resuelto este ejercicio, Mousi pasa al siguiente nivel, que cuenta con dos trampas móviles para impedir a Mousi llegar a su objetivo. Si alcanza la meta, el alumno ha de resolver un ejercicio de compleción de conceptos, pasando a un último nivel en el que, con tres trampas móviles, Mousi habrá de intentar llegar a la meta. Si lo consigue, finalizará su tarea rellenando una lista de velocidades de respuesta de Mousi, teniendo en cuenta los incentivos recibidos y el número de ensayos. En ningún caso el alumno habrá de emplear más de 10 minutos en este juego y recibirá 150 puntos por haberlo culminado adecuadamente en el tiempo. Hay tres niveles en el juego. Si Mousi alcanza la meta del primer nivel, aparece en pantalla un ejercicio de conexión de conceptos mediante flechas, que el alumno ha de llevar a cabo:

Impulso  
Incentivo  
Fuerza de la respuesta

Número de ensayos  
Velocidad  
Tiempo de privación de la comida

Los conceptos “Impulso” y “Fuerza de la respuesta” se conectarán con sus definiciones, “Tiempo de privación de la comida” y “Velocidad”, respectivamente. En cambio, el concepto de “Incentivo” habrá de conectarse con “Número de ensayos” (o “Hábito”), expresándose así la correlación de estas dos nociones en el experimento de Crespi y buscando que el estudiante encuentre algo de dificultad en las respuestas. Si el alumno no acierta se le indica dónde está el fallo, para que lo corrija, lo reintente y pase al siguiente nivel. Si Mousi alcanza la meta del segundo nivel, aparece la siguiente actividad:

-Completar:

Fuerza de la respuesta  $E = \text{_____} \times \text{_____} \times \text{_____}$  (donde hay que escribir Hábito x Impulso x Incentivo).

Si no acierta, se le corrige indicándole en color verde los aciertos y en color rojo los fallos.

Si Mousi alcanza la meta del tercer y último nivel, el alumno ha de completar con números las velocidades de la siguiente secuencia (en negrita las soluciones correctas):

16, **45**, 9

64, **60**, 9

256, **65**, 9

El sujeto ha escoger entre las siguientes velocidades: 30, 45, 60, 65, 75. Pierde 30 puntos por cada intento fallido de validación y puede continuar indefinidamente pero, al cuarto fallo, ya no recibirá los 150 puntos finales de premio por haber terminado la actividad y el juego. El número máximo de puntos que pueden lograrse en el juego es 4274. Al finalizar el juego, el alumno podrá ver todas las respuestas correctas.



## MODO DE SIMULACIÓN

Se dispone de un tiempo máximo de 10 minutos para que el alumno permanezca en este Modo. Se trata de una simulación y no de un juego. Como siempre, se toman como referencia los parámetros del experimento de Crespi (1942), ya indicados en el Juego. Primero aparece una pantalla en la que Mousi está en la parte inicial de un corredor de 125 cm. y se lanza a recorrerlo. El alumno controla su velocidad mediante una pequeña barra deslizadora. Puede escoger entre cinco velocidades: 30 cm./sg., 45 cm./sg., 60 cm./sg., 65 cm./sg. y 75 cm./sg. Al final hay una bola de comida que marca el número 16. La velocidad correcta es de 45 cm./sg. Cuando el alumno acierta, Mousi se dirige hasta el final hacia la bola de comida y se la come. Si acierta a la primera, el sujeto recibe 90 puntos, si falla una vez, recibe 60 puntos. Si falla dos veces recibe 30 puntos. Si falla 3 veces recibe 10 puntos. Si falla más veces, recibe 0 puntos. El acierto se refleja en verde en la pantalla. A continuación aparece en la pantalla un ejercicio de conexión de conceptos mediante flechas, que el alumno ha de completar:

Impulso	Número de ensayos
Incentivo	Velocidad
Fuerza de la respuesta	Tiempo de privación de la comida

Si el alumno no acierta se le indica dónde está el fallo para que lo corrija. Finalizado el ejercicio, se suman 100 puntos a la puntuación ya recibida. El estudiante pasa a la misma situación pero ahora la bola de incentivo marca 64. El número de ensayos se mantiene siempre constante: 9. La velocidad correcta a elegir es de 60 cm./sg. Y en pantalla se ve a Mousi avanzar más rápidamente. Completada la tarea, aparece a continuación el siguiente ejercicio de términos a completar:

Fuerza de la respuesta  $E = \text{_____} \times \text{_____} \times \text{_____}$   
(donde hay que poner Hábito x Impulso x Incentivo)

Si no acierta, se le va corrigiendo, indicándole dónde están los errores. Finalmente, y en la última pantalla de la Simulación, Mousi marchará por el corredor en busca de un incentivo que marca 264 y la velocidad correcta en este caso es de 65 cm./sg. Una vez resuelta la Simulación, el alumno ha de realizar un último ejercicio, consistente en escoger tres velocidades de entre cinco, a partir de diferentes incentivos y un número constante de ensayos 9. Las respuestas correctas se sitúan en negrita entre la cantidad de incentivo a la izquierda y el número de ensayos a la derecha:

16, **45**, 9

64, **60**, 9

256, **65**, 9

Si en cada una de las tres simulaciones, el alumno acierta los tres elementos a la primera, recibe 90 puntos, si acierta dos elementos, 60 puntos, si acierta un elemento, recibe 30 puntos y si no acierta ninguno, aunque luego lo corrija, recibe 0 puntos. Se suma la puntuación conseguida en cada una de las tres simulaciones y en cada uno de los ejercicios y se añaden 150 puntos al finalizar, de tal modo que la máxima puntuación que pueda lograrse sea de 620 puntos. Por cada intento fallido de validación en el último ejercicio de la compleción de velocidades, el sujeto pierde 30 puntos pero al cuarto fallo no se añaden los 150 puntos finales de premio. De esta forma hay un doble contacto entre el Juego y la Simulación que permite comparar resultados: por un lado, los tres ejercicios son coincidentes y, por el otro, en la última actividad se indica el número de validaciones fallidas, pudiéndose así averiguar si el alumno que ha practicado el Juego ha estado más o menos certero que su compañero que ha hecho uso de la Simulación

Al terminar el último ejercicio del Modo de Simulación, el alumno podrá ver todas las respuestas correctas de las tres actividades propuestas.

## **ANEXO 2**

## RESPUESTAS Y “FEEDBACKS”

Las siguientes treinta preguntas y sus respuestas correspondientes de elección múltiple han sido aplicadas en el Modo de Reflexión de PSICO-A. Las respuestas subrayadas son las correctas:

1. Todos los organismos poseen mecanismos reguladores que funcionan como: (a) balanzas; (b) termostatos; (c) sifones.
2. La homeóstasis fisiológica es: (a) una tendencia a mantener el equilibrio interno de un organismo; (b) una tendencia a corregir el estado normal; (c) una tendencia a la privación.
3. Un desequilibrio homeostático causa: (a) una necesidad; (b) un exceso; (c) un impulso.
4. Toda motivación depende del incentivo, el hábito y (a) la respuesta; (b) el impulso; (c) el refuerzo.
5. El incentivo es: (a) el elemento que produce una necesidad corporal; (b) el elemento activador de la respuesta; (c) el elemento de persistencia hacia la meta.
6. El incentivo depende de: (a) la pulsión; (b) la cantidad y calidad de los refuerzos; (c) la privación.
7. La pulsión es: (a) una reserva de energía; (b) un estado de necesidad; (c) una privación.
8. La reducción de la pulsión implica una conducta: (a) insaciable; (c) consumatoria; (c) saciable.
9. En el círculo de necesidades de Hull el primer paso es: (a) la necesidad corporal; (b) la privación psicológica; (c) el impulso.
10. La teoría de Hull basa su nombre en: (a) la eliminación del estado de necesidad; (b) la reducción del impulso; (c) la reducción del incentivo.
11. Hull escribió: (a) *Un sistema de condicionamiento*; (b) *Principios del aprendizaje*; (c) *Principios de la conducta*.
12. Una conducta consumatoria: (a) es apetitiva; (b) impulsa a la búsqueda de un fin; (c) reduce la pulsión.

13. El atractivo de la meta explica: (a) la dinámica de la motivación; (b) la privación psicológica; (c) la reducción de la necesidad.
14. El impulso depende: (a) de la conducta concreta; (b) del estado de privación; (c) de la homeóstasis.
15. El hábito puede medirse por: (a) la cantidad de comida; (b) la calidad de los refuerzos; (c) el número de ensayos.
16. Los mecanismos reguladores sirven para mantener, por ejemplo: (a) la producción de proteínas; (b) el crecimiento; (c) la concentración de azúcar en la sangre.
17. La temperatura corporal: (a) cambia con las variaciones ambientales; (b) es inalterable; (c) no cambia aunque se regula por mecanismos homeostáticos.
18. Nuestro cuerpo no se defiende del frío: (a) dilatando los vasos sanguíneos; (b) temblando; (c) contrayendo los vasos sanguíneos.
19. El desequilibrio interno, en primer lugar,: (a) hace aparecer el impulso; (b) crea un estado de necesidad; (c) consume la conducta.
20. La teoría de Hull consiste en: (a) actuar de forma propositiva; (b) el desarrollo completo del sujeto; (c) reducir la tensión del organismo.
21. Hull se refiere al impulso como: (a) "drive"; (b) "impulse"; (c) "prompting".
22. El impulso puede medirse por: (a) la cantidad de comida; (b) el tiempo de privación; (c) la rapidez en conseguir el objetivo.
23. El círculo de necesidades de Hull consta de: (a) cuatro pasos; (b) cinco pasos; (c) seis pasos.
24. Podemos calificar a Hull de autor: (a) humanista; (b) cognitivista; (c) conductista.
25. La variable incentivo se designa con la letra: (a) "I"; (b) "D"; (c) "K".
26. La fuerza de la respuesta no es: (a) la desviación del estado normal del organismo; (b) una función del hábito y del impulso; (c) el producto del incentivo, el impulso y el hábito.

27. La velocidad de un organismo para alcanzar una meta es una manifestación: (a) del impulso; (b) de la fuerza de la respuesta; (c) de la calidad del incentivo.
28. La fuerza de la respuesta depende de: (a) la suma de tres variables; (b) la ponderación de tres variables; (c) el producto de tres variables.
29. Un ejemplo de una necesidad es: (a) la falta de tiempo; (b) el sueño excesivo; (c) el agua.
30. La homeóstasis fisiológica es un proceso: (a) cíclico; (b) lineal; (c) intemporal.

Si el alumno no responde o no contesta adecuadamente a cualquiera de las preguntas formuladas en el Modo de Reflexión, aparecerá cada uno de los “feedbacks” abajo consignados. Los “feedbacks” solo aparecen si el alumno presiona el botón “No estoy seguro” y una sola vez. Si el alumno vuelve a responder “No estoy seguro” se pasa a la siguiente pregunta. Los “feedbacks” que se suministraron fueron los siguientes:

1. ¿Qué aparato impide que la temperatura suba o baje de un grado conveniente?
2. ¿En qué consiste una tendencia a la autorregulación?
3. ¿Cómo podemos definir un impulso irresistible?
4. ¿Qué fuerza inicial guía a un organismo a actuar?
5. ¿Qué elemento excita el deseo de una cosa o una acción?
6. ¿Mediante qué es posible fortalecer una respuesta?
7. ¿A qué dan lugar las alteraciones fisiológicas presentes en cada momento en un organismo?
8. ¿Cómo es posible llamar a una conducta que conduce a la satisfacción de una necesidad?
9. ¿Cómo puede denominarse a una carencia psicológica?
10. ¿En qué consiste aminorar la tensión de un organismo?
11. Watson defendió que era el concepto fundamental de la Psicología.

12. Es una reserva de energía.
13. Es el móvil que incita la acción de un sujeto.
14. Algo le falta al organismo.
15. Se necesitan realizar diversas pruebas.
16. La diabetes se relaciona con ello.
17. Son sistemas que regulan el equilibrio del organismo.
18. Efecto del calor.
19. Se trata de un impulso irresistible.
20. Implica excitación o esfuerzo.
21. Así se llama a un golpe en el tenis.
22. Es una ausencia de algo.
23. Consta de privación, necesidad, impulso, conducta consumatoria y de...
24. Skinner fue un autor destacado de esa escuela.
25. Es una consonante.
26. Ocurre cuando se altera la homeóstasis.
27. Modifica el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo.
28. Cantidad resultante de la multiplicación.
29. Calma la sed.
30. Para los griegos era el movimiento perfecto.

Las preguntas que se plantearon en el test de seguimiento son las que se indican abajo. Aparecen subrayadas las respuestas correctas:

1. Hull se vio forzado a añadir como un tercer elemento a su teoría: (a) los refuerzos; (b) el incentivo; (c) el impulso.
2. Supongamos que tenemos hambre. Se produce: (a) una reducción del impulso; (b) un impulso a iniciar la conducta; (c) una necesidad a causa de un desequilibrio homeostático.
3. Hull piensa que para explicar la motivación no basta con la necesidad fisiológica sino que también hay que añadir: (a) el atractivo de la meta; (b) la pulsión; (c) la oportunidad.

4. Hull escribió: (a) *Un sistema de conducta*; (b) *Fundamentos del aprendizaje*; (c) Principios de la conducta.
5. El incentivo es: (a) el elemento que produce una necesidad corporal; (b) el elemento activador de la respuesta; (c) el elemento de persistencia hacia la meta.
6. Si entramos en una sauna, la temperatura del cuerpo se defiende con: (a) la piel de gallina; (b) el sudor; (c) temblores involuntarios.
7. Todos los organismos poseen mecanismos reguladores que funcionan como: (a) balanzas; (b) termostatos; (c) sifones.
8. El impulso depende: (a) de la homeóstasis; (b) del estado de privación; (c) del desequilibrio.
9. La pulsión es: (a) una reserva de energía; (b) un estado de necesidad; (c) una privación.
10. El hábito puede medirse por: (a) la calidad de la comida; (b) la cantidad de los refuerzos; (c) el número de ensayos.
11. La temperatura corporal: (a) se altera con las variaciones del entorno; (b) es inalterable; (c) no cambia aunque se regula por mecanismos homeostáticos.
12. El desequilibrio interno, en primer lugar,: (a) hace aparecer el hábito; (b) crea un estado de necesidad; (c) sacia la necesidad.
13. El incentivo depende de: (a) la pulsión; (b) la cantidad y calidad de los refuerzos; (c) la privación.
14. Nuestro cuerpo no se defiende del frío: (a) dilatando los vasos sanguíneos ; (b) temblando; (c) contrayendo los vasos sanguíneos.
15. La teoría de Hull consiste en: (a) actuar de forma intencional; (b) analizar la conducta del sujeto; (c) reducir la tensión del organismo.
16. La fuerza de la respuesta no es: (a) la desviación del estado normal del organismo; (b) una función del hábito y del impulso; (c) el producto del incentivo, el impulso y el hábito.
17. En el círculo de necesidades de Hull el primer paso es: (a) la necesidad corporal; (b) la deprivación psicológica; (c) el impulso.



18. Un ejemplo de una necesidad es: (a) la comida; (b) el sueño excesivo; (c) las prisas.
19. La reducción de la pulsión suele conllevar: (a) equilibrar la cantidad de estímulo recibido; (b) la saciedad del organismo; (c) aumentar la necesidad de incentivo.
20. La fuerza de la respuesta depende de: (a) la suma de tres variables; (b) la ponderación de tres variables; (c) el producto de tres variables.
21. Hull se refiere al impulso como: (a) “impetus”; (b) “drive”; (c) “impulse”.
22. La homeóstasis fisiológica es: (a) una tendencia a mantener el equilibrio interno de un organismo; (b) una tendencia a corregir el estado normal; (c) una tendencia a la privación.
23. El nombre de pila de Hull es: (a) Clark; (b) Clarence; (c) Carl.
24. Toda motivación depende del incentivo, el hábito y (a) la respuesta; (b) el impulso; (c) el refuerzo.
25. Podemos calificar a Hull de autor: (a) estructuralista; (b) cognitivista; (c) conductista.
26. Un desequilibrio homeostático causa: (a) una necesidad; (b) un exceso; (c) un impulso.
27. La teoría de Hull basa su nombre en: (a) la eliminación del estado de necesidad; (b) la reducción del impulso; (c) la reducción del incentivo.
28. La variable incentivo se designa con la letra: (a) “K”; (b) “H”; (c) “I”.
29. La reducción de la pulsión implica una conducta: (a) insaciable; (c) consumatoria; (b) saciable.
30. La homeóstasis fisiológica es un proceso: (a) eterno; (b) cíclico; (c) irreversible.

En el test metacognitivo usado en PSICO-A hemos seguido tres criterios para elaborar un cuestionario que evalúe la capacidad metacognitiva de nuestros alumnos: (a) su necesaria brevedad para no sobrecargarles con un excesivo número de preguntas; (b) que los tres macrocomponentes del Modelo Global de la Metacognición de Mayor, Suengas y González Marqués estén

presentes y (c) que tales tres aspectos tengan la suficiente concreción como para ser aplicados a un tema cualquiera de estudio. A la derecha del número de presentación de cada uno de ellos, insertaremos entre corchetes, el número del correspondiente ítem del MGM que es tomado como referencia. La primera cuestión versará sobre la capacidad representacional del alumno y para cada uno de los macrocomponentes cubriremos con una pregunta los procesos de recuerdo y atención, respectivamente. Las cuestiones relativas al macrocomponente de la toma de conciencia se formularán acerca del recuerdo y la atención prestadas a la generalidad del tema. Las preguntas referentes al macrocomponente del control aludirán a algún aspecto recordado y atendido del tema estudiado, mientras que en la autopoiesis se preguntará sobre los procesos atencionales y de memoria, en un sentido global. La variable metacognitiva del sujeto atenderá a sus conocimientos, habilidades y motivaciones, a través de tres cuestiones. En total, 10 ítems que reformulamos de la siguiente manera:

- 1) [1] El conocimiento del tema
  - a) lo he manejado a través de palabras,
  - b) lo he manejado a través de imágenes,
  - c) lo he manejado a través de ideas,
  - d) lo he manejado sin más, sin saber bien a través de qué.
- 2) [2] Cuando he tenido que recordar el tema:
  - a) he sabido qué hacer para recordarlo después,
  - b) he sabido si era fácil o difícil recordarlo,
  - c) he ido rellenando las posibles lagunas de mi recuerdo,
  - d) lo he recordado sin más.
- 3) [15] Cuando he prestado atención al tema:
  - a) me he dado cuenta de que estaba concentrado en un punto concreto,
  - b) me he dado cuenta del esfuerzo que he tenido que realizar,
  - c) me he dado cuenta de que he podido atender a dos cosas a la vez,
  - d) simplemente he atendido.
- 4) [27] Cuando he organizado mis recuerdos del tema:
  - a) he seleccionado los objetivos de esa organización,
  - b) he utilizado estrategias para organizarlos,
  - c) he relacionado los recuerdos,
  - d) los he organizado sin ocuparme de cómo.

- 5) [4] Cuando he pensado en el tema:
- a) mi pensamiento me ha abierto nuevas posibilidades,
  - b) he mejorado mi pensamiento al darme cuenta de cómo pienso,
  - c) he distinguido entre mi pensamiento y el contenido del tema,
  - d) simplemente he pensado, sin darle más vueltas.
- 6) [14] Cuando he tenido dificultades para recordar el tema:
- a) he pensado que no tenía capacidad para ello,
  - b) he buscado la causa en las circunstancias externas,
  - c) he dedicado un esfuerzo mayor,
  - d) me ha parecido algo natural.
- 7) [26] Los conocimientos previos que tenía acerca del tema\*:
- a) me han facilitado el pensar, recordar o atender acerca del mismo,
  - b) me han ayudado a utilizar mejores estrategias,
  - c) me han permitido reflexionar mejor sobre el tema,
  - d) los he aplicado y no me he planteado más cuestiones.
- \* no responder en caso de no conocer nada sobre el tema.
- 8) [37] Cuando pienso en algo:
- a) mi pensamiento abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad pensada,
  - b) puedo mejorar mi pensamiento dándome cuenta de cómo pienso,
  - c) distingo entre mi pensamiento y ese algo,
  - d) simplemente lo pienso.
- 9) [38] Al reflexionar sobre mí mismo:
- a) siento que mi mente maneja mejor la realidad,
  - b) siento que mi mente es más segura y eficaz,
  - c) siento que mi mente es capaz de ir más allá de sí misma,
  - d) simplemente intento reflexionar.
- 10) [39] Cuando tengo que atender, recordar o pensar:
- a) me siento interesado/a en ello por sí mismo,
  - b) solo lo hago si con ello tengo que conseguir algo,
  - c) me aburre y me canso enseguida,
  - d) lo hago directamente sin preguntarme por qué.

La puntuación del cuestionario metacognitivo aplicada por PSICO-A es como sigue: en el primer juicio, cualquiera de las respuestas (a), (b) y (c) cuenta como 1 punto frente a 0 puntos aportados por la alternativa (d). La misma puntuación se atribuye a las respuestas (a), (b) y (c) concernientes a los juicios 2-9. El estudiante puede declarar su ausencia total de conocimientos sobre el tema, no respondiendo al juicio 7. Finalmente, en el juicio décimo, la

respuesta (a) vale 1 punto, frente al valor 0,5 de la respuesta (b) y el valor nulo de las respuestas (c) y (d). La escala utilizada para valorar la capacidad metacognitiva de los alumnos ha sido la siguiente:

Capacidad Metacognitiva	Puntuación
Máxima	9-10
Muy alta	7-8,5
Alta	6-6,5
Media	5-5,5
Baja	3-4,5
Muy baja	0,5-2,5
Nula	0

Por lo que respecta al cuestionario metacognitivo que se presentó a los alumnos en el test de seguimiento de Abril, las preguntas fueron estas:

- 1) Al atender, recordar o pensar sobre el tema:
  - a) he buscado alguna estrategia que ya antes me ha dado resultado,
  - b) he buscado alguna estrategia nueva para hacerlo mejor,
  - c) he ido evaluando la eficacia de la estrategia utilizada,
  - d) no he pensado en estrategias ni cosas parecidas.
- 2) Cuando he tenido que recordar el tema:
  - a) he sabido qué hacer para recordarlo después,
  - b) he sabido si era fácil o difícil recordarlo,
  - c) he ido rellenando las posibles lagunas de mi recuerdo,
  - d) lo he recordado sin más.
- 3) Cuando he prestado atención al tema:
  - a) me he dado cuenta de que estaba concentrado en algo concreto
  - b) me he dado cuenta del esfuerzo que he tenido que realizar,
  - c) me he dado cuenta de que he podido atender a dos cosas a la vez,
  - d) simplemente he atendido.
- 4) Cuando mi mente se adapta a la realidad o a mis propósitos:
  - a) selecciono las metas y objetivos de esa adaptación,
  - b) utilizo estrategias y procedimientos para adaptarla,
  - c) controlo el proceso y la eficacia de esa adaptación,
  - d) sin que yo me ocupe lo hace.
- 5) Cuando he pensado en el tema:
  - a) mi pensamiento me ha abierto nuevas posibilidades,
  - b) he mejorado mi pensamiento al darme cuenta de cómo pienso,
  - c) he distinguido entre mi pensamiento y el contenido del tema,
  - d) simplemente he pensado, sin darle más vueltas.

- 6) Cuando he tenido dificultades para recordar el tema:
  - a) he pensado que no tenía capacidad para ello,
  - b) he buscado la causa en las circunstancias externas,
  - c) he dedicado un esfuerzo mayor,
  - d) me ha parecido algo natural.
  
- 7) Los conocimientos previos que tenía acerca del tema\*:
  - a) me han facilitado el pensar, recordar o atender acerca del mismo,
  - b) me han ayudado a utilizar mejores estrategias,
  - c) me han permitido reflexionar mejor sobre el tema,
  - d) los he aplicado y no me he planteado más cuestiones.

\* no responder en caso de no conocer nada sobre el tema.
  
- 8) La distinción entre mi mente y la realidad:
  - a) me permite ir más allá de mí mismo,
  - b) me permite ir más allá de la realidad,
  - c) me permite ir más allá de mí mismo y de la realidad,
  - d) no la tomo en cuenta.
  
- 9) Cuando soy consciente de alguna realidad:
  - a) me doy cuenta de que está ordenada, que se ajusta a reglas,
  - b) tengo conciencia de que mi mente introduce un cierto orden en ella,
  - c) me doy cuenta de que todo depende del azar,
  - d) simplemente soy consciente de ello, sin plantearme si la realidad está ordenada o no.
  
- 10) Cuando pongo en funcionamiento mi mente para atender, recordar o pensar
  - a) me preocupo de saber cuáles son las condiciones de ese funcionamiento,
  - b) me preocupo de saber cuáles son las causas y antecedentes de ese funcionamiento,
  - c) me preocupo de saber cuáles son las razones de ese funcionamiento
  - d) simplemente la pongo en funcionamiento, sin averiguar nada acerca de cómo funciona.

Los criterios de evaluación del cuestionario han consistido en que las respuestas (a), (b) y (c) sumen 1 punto frente a 0 puntos las respuestas (d) en los ítems 1-5, 7-8 y 10, mientras que en la cuestión 6, la respuesta (c) aporte 1 punto, las respuestas (a) y (d), 0 puntos, y la respuesta (b) sume 0,5 puntos. En la cuestión 9, (a) y (b) aportaron 1 punto y (c) y (d) tuvieron valoración nula. Como en el caso anterior, la cuestión 7 pudo dejarse sin respuesta. La escala usada de capacidad metacognitiva fue la misma que en el caso anterior.

## **ANEXO 3**

## **INSTRUCCIONES DEL MODO DE AYUDA**

El alumno ha de empezar escribiendo su nombre y sus datos personales en el área de FICHA ALUMNO. Tras guardar sus datos, habrá de dirigirse al área de la UNIDAD DIDÁCTICA y, a la vez que pone en funcionamiento el cronómetro de la parte inferior central de la pantalla, iniciará el estudio del texto de dicha Unidad, desplazándose con entera libertad por los CONTENIDOS a través de la barra de los mismos. Dispondrá del tiempo que estime oportuno y cuando considere que ha aprendido el contenido parará el tiempo marcado por el cronómetro, presionando de nuevo sobre su pantalla. No obstante, el tiempo dedicado al estudio en ningún caso superará los 15 minutos, aunque tampoco el tiempo empleado será inferior a los 10 minutos. A su vez, el alumno ha de presionar el botón de APRENDIZAJE y desaparecerá el texto de la UNIDAD DIDÁCTICA y de la barra de CONTENIDOS. Ejecutada esta operación, el alumno acudirá a la parte derecha de la pantalla principal y presionará el botón de CONOCIMIENTOS PREVIOS, escribiendo si conocía algo del tema antes de haberlo leído y qué es lo que ya sabía. El tiempo está limitado a 2 minutos. El alumno acudirá a continuación al BLOC DE NOTAS y allí escribirá su recuerdo libre del tema durante un tiempo máximo de 10 minutos. Después, el alumno entrará en el ÁREA DE JUICIOS DE CONFIANZA y marcará el porcentaje que, en su opinión, refleje su grado de recuerdo de lo estudiado. Una vez realizado esto, el alumno irá hacia la zona de JUICIOS METACOGNITIVOS y completará las 10 cuestiones que se le plantean. El botón de EVALUACIÓN permite al alumno observar el número de respuestas correctas dadas a las preguntas del MODO DE REFLEXIÓN.

Cumplido todo lo anterior, el alumno se dirigirá al EDITOR DEL MAPA CONCEPTUAL y, manejando los botones de la derecha, construirá su propio MAPA CONCEPTUAL del tema en un tiempo máximo de 10 minutos y mínimo de 5 minutos. En el EDITOR DEL MAPA CONCEPTUAL, el alumno irá situando las cajas de conceptos, pulsando el botón CONCEPTO. Dicho botón permitirá desplegar los CONCEPTOS, los cuales irán apareciendo en pantalla según el alumno los vaya seleccionando. Los CONCEPTOS se conectarán mediante

tres tipos de RELACIONES: CAUSAL, JERÁRQUICA o DESCRIPTIVA. Una RELACIÓN es CAUSAL cuando expresa el origen o efecto del CONCEPTO. Una relación es JERÁRQUICA si indica partes en las que se descompone. Una RELACIÓN es DESCRIPTIVA si se limita a DEFINIR un CONCEPTO. A cada una de ellas les corresponderá un tipo de flecha: una flecha continua expresará una RELACIÓN CAUSAL, una flecha con punta blanca indicará una RELACIÓN JERÁRQUICA y una flecha discontinua establecerá una RELACIÓN DESCRIPTIVA. En cada caja de CONCEPTO, el vértice superior izquierdo permite desplazar la caja, el vértice superior derecho permite EDITAR el CONCEPTO, el vértice inferior izquierdo elimina la caja y el vértice inferior derecho permite aumentar o disminuir el tamaño de la caja.

En la parte superior de la pantalla, se despliega el Menú de ARCHIVO, con las siguientes herramientas: NUEVO, para diseñar un nuevo MAPA CONCEPTUAL, ABRIR un MAPA CONCEPTUAL ya guardado, GUARDAR COMO para salvar el MAPA CONCEPTUAL diseñado, IMPRIMIR para imprimir todas las pantallas del Sistema, EDITAR MI FICHA, donde el alumno ha de escribir su nombre y apellidos y SALIR.

El Menú de MODO conduce al MODO DE JUEGO y al MODO DE REFLEXIÓN y el Menú de AYUDA conduce a la ventana de INSTRUCCIONES.

El MODO DE REFLEXIÓN permite al alumno reflexionar sobre los posibles errores cometidos en el APRENDIZAJE. El Sistema le formula una serie de preguntas. El alumno ha de seleccionar una respuesta sobre tres posibles alternativas, pudiendo pulsar el botón de NO ESTOY SEGURO. El MODO DE EVALUACIÓN dictaminará el número de respuestas correctas e incorrectas. Si el sujeto ha pulsado el botón de NO ESTOY SEGURO, recibirá algún tipo de ayuda o FEEDBACK en forma de pregunta. En el MODO DE JUEGO aparece MOUSI, una ratita blanca que recorre un laberinto desde un lugar de salida hasta un lugar de llegada o META. A lo largo del laberinto, el alumno ha de conducir a MOUSI a alimentarse de una serie de incentivos o bolitas coloreadas con las cifras 16, 64 y 256. Según vaya alimentándose de las bolitas con mayor valor, la velocidad de MOUSI aumentará hacia la obtención de su objetivo final, que es alcanzar la Meta para pasar a un



siguiente nivel. Una TRAMPA móvil se dirige hacia MOUSI y MOUSI debe evitarla. Si no lo consigue, MOUSI queda atrapada durante unos segundos y recibe una penalización que reduce los puntos que ha ido consiguiendo. Una vez cumplida la penalización, MOUSI, que ha pasado unos segundos de privación, se reactiva a mayor velocidad que la anterior. En el caso de que MOUSI sea atrapada una segunda vez en el mismo laberinto, deberá volver al punto de partida. Si MOUSI llega a la META, para pasar de nivel ha de solucionar adecuadamente una actividad de conexión de conceptos mediante flechas, recibiendo una recompensa de puntos una vez resuelta correctamente. Resuelto este ejercicio, MOUSI pasa al siguiente nivel, que cuenta con dos trampas móviles para impedir a MOUSI llegar a su objetivo. Si alcanza la META, el alumno ha de resolver un ejercicio de compleción de conceptos, pasando a un último nivel en el que, con tres trampas móviles, MOUSI habrá de intentar llegar a la META. Si lo consigue, finalizará su tarea rellenando una lista de velocidades de la respuesta de MOUSI, teniendo en cuenta los incentivos recibidos y el número de ensayos. En ningún caso el alumno habrá de emplear más de 10 minutos en este JUEGO.

Al entrar en el MODO DE SIMULACIÓN, el alumno habrá de responder a diversas cuestiones ayudando a que MOUSI recorra un pasadizo en busca de alimento, ajustando las velocidades de su marcha.

## **ANEXO 4**

## UNIDAD DIDÁCTICA DE PSICO-A

### LA TEORÍA DE LA REDUCCIÓN DEL IMPULSO DE C. HULL

Todos los **organismos** poseen **mecanismos reguladores** que funcionan como termostatos para mantener la producción hormonal, la concentración de azúcar en la sangre o la temperatura corporal. Por ejemplo, en los seres humanos la temperatura normal del cuerpo es de 36° C y se defiende contra las alteraciones por medio de varios **mecanismos homeostáticos**.

Si entramos en una cámara refrigeradora, nuestro cuerpo se defiende contrayendo los capilares sanguíneos, temblando, etc. En cambio, si entramos en una sauna, la temperatura del cuerpo se defiende con la dilatación de los vasos sanguíneos y el sudor. Estos mecanismos son muy eficaces, ya que la temperatura corporal no cambia aunque existan grandes variaciones en la temperatura ambiental.

La **homeóstasis** fisiológica es la tendencia de todos los organismos a corregir las **desviaciones del estado normal** y mantener el **equilibrio interno**

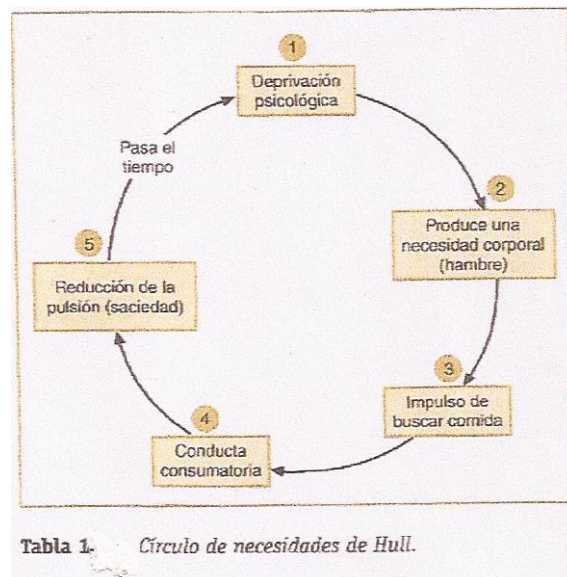
Clark Hull, en su obra *Principios de la conducta*, expone su teoría de la **reducción del impulso**, basada en el concepto de homeóstasis, para explicar el estado biológico de los organismos cuando se produce una **necesidad**: comida, agua, sexo, sueño, etc. El **desequilibrio interno** crea un estado de necesidad, que hace aparecer el “impulso” que mueve al organismo para satisfacer esa necesidad. La **pulsión** es una **reserva de energía** compuesta de las alteraciones fisiológicas presentes en cada momento.

La **fuerza de la respuesta (E)** es una función del **hábito (H)** y del **impulso (D)**, de *drive*, “energía” en inglés) o elemento activador de la respuesta. Ambos se multiplican para determinar la **conducta** manifiesta o la acción. Posteriormente Hull se vio forzado a añadir un tercer elemento, el **incentivo (K)**, el elemento de persistencia hacia la **meta**, que depende de la cantidad y calidad de los refuerzos.

Toda **motivación** depende de estas variables:  $E=HxDxK$ . Es decir; la fuerza de la respuesta depende de multiplicar el hábito por el impulso y por el incentivo.

Pongamos un ejemplo. Supongamos que tenemos hambre. Se produce una necesidad a causa de un desequilibrio homeostático (privación de comer), este desequilibrio produce un impulso a iniciar la conducta de buscar comida, que reduce el impulso y termina el estado de necesidad. El impulso depende del **estado de privación** y el incentivo nos hace dirigirnos a una conducta concreta y determinada.

Hull considera que la necesidad fisiológica no basta para explicar la dinámica de la motivación, también es importante el **atractivo de meta** buscado para reducir esa necesidad.



En **negrita** se han recalcado los conceptos del apartado que han sido tomados en consideración. El Índice de la Unidad Didáctica consta de los siguientes elementos, tal y como aquí aparecen distribuidos y con las señalizaciones correspondientes:

#### **-Teoría de la reducción del impulso**

Homeóstasis

Necesidad

Pulsión

Fuerza de la respuesta

Hábito

Impulso

Incentivo

## **ANEXO 5**

# UNIDAD DIDÁCTICA 1

## MÉTODO EXPERIMENTAL

Un **experimento** es toda observación controlada que sirve para comprobar la verdad de las predicciones que se derivan de una hipótesis.

Un experimento supone crear una situación, generalmente en el laboratorio, que permita comprobar qué efectos tiene una **variable independiente** (VI) sobre una **variable dependiente** (VD). Se trata de verificar si al modificar alguna condición de la VI se produce algún cambio en la VD. Un investigador puede manipular la VI para demostrar o rechazar una hipótesis.

Se utilizan dos tipos de hipótesis:

**-Hipótesis nula:** los cambios realizados por el experimentador en las condiciones de la prueba no alteran el resultado de esta.

**-Hipótesis alternativa:** un cambio particular en las condiciones del experimento alterará los resultados de este. Si varía una condición, los resultados también varían.

Veamos el ejemplo de un experimento como puede ser observar si influye la temperatura a la hora de realizar un examen. El investigador trata de confirmar o descartar la hipótesis nula (los cambios de temperatura no tienen efecto en las puntuaciones de los estudiantes) y aplica el examen tres veces: una, al grupo que realiza el ejercicio a temperatura normal; otra, al grupo con alta temperatura; y otra al grupo con baja temperatura.

Los estudiantes que realizan el ejercicio a temperatura normal forman el **grupo de control**. Los estudiantes que lo hacen a temperatura alta o baja son miembros de **grupos experimentales**, cuya ejecución se compara con la del grupo control.

Los grupos experimentales y de control difieren únicamente en la cantidad o nivel de la VI. Las respuestas de ambos grupos se miden en términos de la misma variable dependiente.

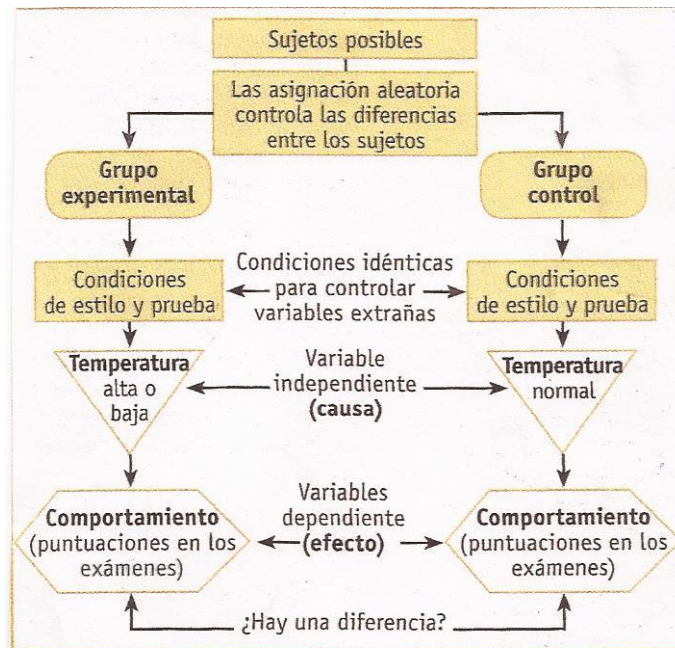


Tabla 1.6. Elementos de un experimento psicológico. Para evaluar los efectos de la temperatura en la realización de exámenes.

Para realizar un experimento es imprescindible: la **muestra** (individuos sujetos a la situación experimental) debe ser típica de la población a investigar; solo así podremos generalizar los resultados del experimento. El muestreo puede ser:

- a) **Al azar**: el grupo seleccionado de la población se obtiene de una tabla de números al azar. Cada sujeto tiene igual oportunidad de ser elegido.
- b) **Estratificado**: en algunos casos el investigador escoge una muestra estratificada; cada subgrupo es representado en el experimento por el porcentaje que tiene en la población total.
- c) El investigador debe controlar las **variables extrañas** que puedan influir en el experimento. En la investigación psicológica se consigue mediante la división de los sujetos participantes del experimento en grupo experimental y grupo de control.

Para conseguir unos resultados satisfactorios, la metodología experimental exige que el experimento tenga **validez interna** (existencia de la



relación entre las variables) y **validez externa** (permite la generalización de resultados a otros sujetos y situaciones). En un experimento controlado, las diferencias en la VI son la única causa posible para cualquier efecto en la VD. Esto permite establecer relaciones de causa-efecto entre variables.

Las preguntas planteadas en el cuestionario fueron las siguientes (subrayadas aparecen las respuestas correctas):

1. La validez interna de un experimento exige: (a) la verificabilidad de sus partes; (b) la relación entre las variables; (c) su coherencia.
2. La variable independiente es controlada por: (a) el sujeto experimental; (b) la variable dependiente; (c) el experimentador.
3. En la hipótesis alternativa, si varía una condición: (a) los resultados varían; (b) los resultados no cambian; (c) depende de las condiciones de la prueba.
4. Los estudiantes que realizan el ejercicio a temperatura normal forman el: (a) grupo experimental; (b) grupo de referencia; (c) grupo de control.
5. Las variables extrañas en un experimento pueden controlarse: (a) repitiendo el experimento; (b) incentivando a los sujetos experimentales; (c) dividiendo a los sujetos en grupos.
6. La validez externa permite: (a) generalizar los resultados a otros sujetos y situaciones; (b) aislar los resultados de la variable independiente; (c) restringir los resultados de la variable dependiente.
7. Los grupos experimentales y de control difieren solo en: (a) el carácter aleatorio de la muestra; (b) la cantidad o nivel de la variable independiente; (c) la cantidad de la muestra.
8. Un experimento es: (a) una observación imparcial; (b) una observación controlada; (c) una observación hipotética.

9. La variable independiente es: (a) la causa de la variable dependiente; (b) el efecto de la variable dependiente; (c) el reflejo de la variable dependiente.
10. En la hipótesis nula los cambios realizados en las condiciones: (a) alteran el resultado de la prueba; (b) incrementan el resultado de la prueba; (c) no cambian el resultado de la prueba.
11. El rendimiento en los exámenes a diferentes temperaturas sería medido por: (a) la variable independiente; (b) la variable experimental; (c) la variable dependiente.
12. En una muestra estratificada: (a) los sujetos se escogen al azar; (b) los sujetos se agrupan en función de su porcentaje en la población total; (c) los sujetos se agrupan en capas.
13. En una muestra al azar, cada sujeto: (a) es extraído a suerte; (b) tiene igual oportunidad de ser elegido; (c) es escogido por casualidad.
14. Un ejemplo de hipótesis nula sería que: (a) los cambios de temperatura no afectan a las puntuaciones de los estudiantes; (b) los cambios de temperatura afectan a las puntuaciones de los estudiantes; (c) los cambios de temperatura son manipulables.
15. Las condiciones para controlar variables extrañas han de ser: (a) diferentes; (b) simétricas; (c) idénticas.
16. Entre la variable independiente y la dependiente se pueden establecer relaciones de: (a) jerarquía; (b) descriptividad; (c) causa-efecto.
17. Un experimento sirve para: (a) interpretar las diversas opiniones; (b) comprobar la verdad de las predicciones; (c) respaldar las propias creencias.
18. Un ejemplo de variable dependiente en un experimento de conducta animal sería medir: (a) la velocidad de una rata en un pasadizo ante la presencia de más cantidad de incentivo; (b) la sensación de hambre de una rata siempre en las mismas condiciones; (c) los pensamientos de la rata para orientarse.

19. En un experimento se derivan conclusiones a partir de: (a) un axioma; (b) una hipótesis; (c) un teorema.
20. Una muestra consiste en: (a) un modelo a imitar; (b) un muestrario de cosas; (c) un conjunto de individuos sujetos a la situación experimental.
21. Para aceptar o rechazar una hipótesis, un investigador puede: (a) manipular la variable dependiente; (b) manipular la variable independiente; (c) formular una nueva hipótesis.
22. Un ejemplo de validez interna sería: (a) la relación entre el calor y el sudor de los sujetos; (b) la relación entre el calor y la altura de los sujetos; (c) la relación entre el calor y el frío.
23. Un tipo de hipótesis es: (a) hipótesis alternativa; (b) hipótesis empírica; (c) hipótesis vacía.
24. Las respuestas de los grupos de control y experimental se miden: (a) mediante una variable dependiente distinta; (b) a través de la misma variable dependiente; (c) mediante una variable independiente.
25. En Psicología, la variable dependiente puede reflejar a veces: (a) la opinión subjetiva del experimentador; (b) una certeza absoluta; (c) una conducta.
26. Podemos calificar a la Psicología actual de una: (a) creencia; (b) ciencia experimental; (c) pseudociencia.
27. Un ejemplo de variable extraña en un experimento sobre el rendimiento de los alumnos en un examen podría ser: (a) el color de sus ojos; (b) su grado de timidez; (c) el que haya un fuerte ruido en la clase contigua.
28. En la ciencia experimental se suele realizar trabajo: (a) en el laboratorio; (b) introspectivo; (c) incontrolado.
29. Para hacer ciencia se necesita seguir: (a) una tradición ; (b) un método; (c) unas valoraciones propias.
30. Comprobar en un experimento equivale a: (a) suponer; (b) refutar; (c) verificar.

## **ANEXO 6**

## CÓDIGOS FUENTES DE ALGUNOS DETALLES DE LA PROGRAMACIÓN INFORMÁTICA DE PSICO-A

### -Analizador

```
<?php

require('framework/plugins/nlu/core.php');

class psiconlu extends nlu
{
    function getLists($_conceptos)
    {
        global $_db;

        $_listas = array();

        foreach($_conceptos as $c)
        {
            $concepto = $_db->getOne('SELECT
concepto_ecuacion FROM analizador_concepto WHERE
concepto_codigo = :cod', array(':cod' => $c));

            $conceptos[$c] =
str_replace(array('CASI_EXACTO', 'EXACTO', 'SINONIMO'),
array('ALMOSTEXACTLY', 'EXACT', 'SYNONYMOUS'),
strtoupper($concepto['concepto_ecuacion']));

            $_listas =
array_unique(array_merge($_listas, $this-
>extractLists($concepto['concepto_ecuacion'])));
        }

        foreach($_listas as $l)
        {
            $r = $_db->getOne('SELECT lista_palabras
FROM analizador_lista WHERE UPPER(lista_codigo) = :l',
array(':l' => $l));

            $listas[$l] = explode(',',
$r['lista_palabras']);
        }

        return array($conceptos, $listas);
    }
}
```

```

function process($pregid, $respuesta)
{
    global $_db;

    $_conceptos = array();

    foreach($_db->fetchAll('SELECT rowid,
feedback_texto, feedback_ecuacion FROM analizador_feedback
WHERE feedback_pregunta = :pregid', array(':pregid' =>
$pregid)) as $f)
    {
        $feedbacks[$f['rowid']] = array('texto' =>
$f['feedback_texto'], 'ecuacion' =>
$f['feedback_ecuacion']);

        $feedbackeqs[] = $f['feedback_ecuacion'];

        $_conceptos =
array_unique(array_merge($_conceptos, $this-
>extractParts($f['feedback_ecuacion'], true)));
    }

    list($conceptos, $listas) = $this-
>getLists($_conceptos);

    $res = $this->run($respuesta, $feedbackeqs,
$conceptos, $listas);

    $results['funcs'] = $res['funcs'];
    $results['funcsvals'] = $res['funcsvals'];

    foreach($conceptos as $c => $eq)
    $results['conceptos'][$c] = array('eq' => $eq, 'eqsolved'
=> $res['concepts'][$c]['eqsolved'], 'res' =>
$res['concepts'][$c]['res']);

    $results['nfeedbacks'] = 0;
    $f2 = 0;
    foreach($feedbacks as $k => $f)
    {
        $results['feedbacks'][] = array('rowid' =>
$k, 'texto' => $f['texto'], 'eq' => $f['ecuacion'],
'eqsolved' => $res['feedbacks'][$f2]['eqsolved'], 'res' =>
$res['feedbacks'][$f2]['res']);
        if ($res['feedbacks'][$f2]['res'])
        $results['nfeedbacks']++;
        $f2++;
    }
}

```

```

        return $results;
    }

    function searchConcepts($text)
    {
        global $_db;

        foreach($_db->fetchAll('SELECT concepto_codigo
FROM analizador_concepto') as $c)
            $conceptos[] = $c['concepto_codigo'];

        /*$r = $this->getLists($conceptos);
        $concepts = $r[0];
        $lists = $r[1];*/

        list($concepts, $lists) = $this-
>getLists($conceptos);

        $results = $this->run($text, array(), $concepts,
$lists);

        //print_r($conceptos);echo
        '*';print_r($concepts);echo '*';print_r($lists);echo
        '*';print_r($results);die;

        $_concepts = array();

        foreach($results['concepts'] as $c => $r) if
($r['res']) $_concepts[] = $c;

        return $_concepts;
    }
}

$nlul = new psiconlu();

?>

```

## **-Funciones del Analizador**

```

<?php

class crud
{
    var $data;

```

```

var $json_output;
var $output;
var $listdata;
var $rowid;

function crud($data)
{
    $this->data = $data;

    $this->listdata['columns'] = array(array("label"
=> "ID", "type" => "data"), array("label" => "CÃ³digo",
"type" => "data"), array("label" => "Nombre", "type" =>
"data"), array("label" => "DescripciÃ³n", "type" =>
"data"), array("label" => "EcuaciÃ³n", "type" => "data"),
array("label" => "Acciones", "type" => "links", "links" =>
array(array("type" => "editrow", "label" => "", "url" =>
""), array("type" => "deleterow", "label" => "", "url" =>
""))));
}

private function _loadList()
{
    global $_db;
    $this->json_output['title'] = 'Conceptos';
    $this->json_output['btn_add_label'] = 'nuevo
concepto';
    $this->json_output['msg_norows'] = 'No hay
conceptos.';
    $this->json_output['flags'] = array("" => true);
    $this->json_output['columns'] = $this-
>listdata['columns'];

    foreach($_db->fetchAll('SELECT rowid, * FROM
analizador_concepto ORDER BY concepto_codigo', array()) as
$row) $this->json_output['rows'][] = array('data' =>
array($row["rowid"], $row["concepto_codigo"],
$row["concepto_nombre"], $row["concepto_descripcion"],
$row["concepto_ecuacion"], $row[""]), 'id' =>
$row['rowid']);

    $this->rowid = $row['rowid'];
}

private function _loadForm($title, $rowid = '',
$readonly = false, $action = 'form_save')
{
    global $_db;

```



```

    $this->json_output['fields'] = array(array("id"
=> "cod", "label" => "Código", "info" => "Este código es
utilizado como referencia en las ecuaciones.", "type" =>
"text", "group" => "Datos", "group_id" => "datos", "flags"
=> array("required")), array("id" => "nombre", "label" =>
"Nombre", "info" => "", "type" => "text", "group" =>
"Datos", "group_id" => "datos", "flags" =>
array("required")), array("id" => "desc", "label" =>
"Descripción", "info" => "", "type" => "largetext",
"group" => "Datos", "group_id" => "datos", "flags" =>
array()), array("id" => "ecuacion", "label" => "Ecuación",
"info" => "Las expresiones se pueden agrupar con corchetes
[ ] y se pueden unir mediante operadores lógicos (& = y, |
= o, != negación). Ej.: [exacto(lista1) &
casi_exacto(lista2)] | ! levenshtein(3,
'palabra1,palabra2')", "type" => "largetext", "group" =>
"Datos", "group_id" => "datos", "flags" =>
array("required")));
    $this->json_output['title'] = 'Conceptos:
'. $title;
    $this->json_output['readonly'] = $readonly;
    $this->json_output['action'] = $action;
    $this->json_output['help'] = 'Funciones válidas:
<ul> <li><b>exacto(lista)</b>: devuelve VERDADERO si la
palabra examinada esta en la "lista" de palabras,
exactamente.</li> <li><b>casi_exacto(lista)</b>: devuelve
VERDADERO si la palabra examinada esta en la
"lista" de palabras sin comprobar las vocales
(ej: casa y caso darán VERDADERO).</li> <li><b>similar(n,
lista)</b>: devuelve VERDADERO si la palabra examinada
tiene un grado de similitud (algoritmo de Oliver) menor o
igual a "n" en al menos una palabra de la
"lista".</li> <li><b>levenshtein(n, lista)</b>:
devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene una
"distancia de Levenshtein" menor o igual a
"n" en al menos una palabra de la
"lista".</li> <li><b>hamming(n, lista)</b>:
devuelve VERDADERO si la palabra examinada tiene una
"distancia de Hamming" menor o igual a
"n" en al menos una palabra de la
"lista".</li> <li><b>stemmer(lista)</b>: devuelve
VERDADERO si la palabra examinada es aprobada por el
algoritmo de Porter Stemming en al menos una de las
palabras de la "lista".</li> <!--
;lista".</li> <li><b>sinonimo(lista)</b>: devuelve
VERDADERO si la palabra examinada es sinonimo de al menos
una de las palabras de la "lista".</li>--> </ul>
Las listas pueden referenciarse por su código o bien como

```

```

una lista de palabras separadas por comas y encerrada entre
comillas (ej: &#39;palabral,palabra2&#39;).';
    $this->json_output['flags'] = array("'" => true);

    if ($rowid)
    {
        $this->json_output['rowid'] = $rowid;
        $this->json_output['data'] = $_db-
>getOne('SELECT concepto_codigo cod, concepto_nombre
nombre, concepto_descripcion desc, concepto_ecuacion
ecuacion FROM analizador_concepto WHERE rowid = :ID',
array(':ID' => $rowid));
        $this->rowid = $rowid;
    }

    }

private function _saveForm()
{
    global $_db;

    foreach($this->data['values'] as $v)
    $values[$v['id']] = $v['value'];

    $data = array('concepto_codigo' =>
    $values['cod'], 'concepto_nombre'=> $values['nombre'],
    'concepto_descripcion' => $values['desc'],
    'concepto_ecuacion' => $values['ecuacion']);

    if ($this->data['rowid'] == null)
        $_db->insert('analizador_concepto', $data,
'rowid');
    else
        $_db->update('analizador_concepto', 'rowid',
$this->data['rowid'], $data);

    $this->rowid = $_db->last_insert_id;
}

private function _deleteForm()
{
    global $_db;

    $_db->delete('analizador_concepto', 'rowid',
$this->data['rowid']);

    $this->rowid = $this->data['rowid'];
}

```

```

function process()
{
    global $_db, $_app;

    switch($this->data['action'])
    {
        case 'list_load':
        {
            $this->_loadList();
            break;
        }
        case 'form_add':
        {
            $this->_loadForm('Crear nuevo concepto');
            break;
        }
        case 'form_view':
        {
            $this->_loadForm('', $this->data['rowid'],
true, 'form_view');
            break;
        }
        case 'form_edit':
        {
            $this->_loadForm('Editar concepto', $this-
>data['rowid']);
            break;
        }
        case 'form_delete':
        {
            $this->_loadForm('Eliminar concepto', $this-
>data['rowid'], true, 'form_drop');
            break;
        }
        case 'form_save':
        {
            $this->_saveForm();
            break;
        }
        case 'form_drop':
        {
            $this->_deleteForm();
            break;
        }
    }

    if ($this->json_output) $this->output =
json_encode($this->json_output);

```

```

        if ($this->output) die($this->output);
    }
}

?>

```

## -Preguntas del Modo de Reflexión

```

<?php

class crud
{
    var $data;
    var $json_output;
    var $output;
    var $listdata;
    var $rowid;

    function crud($data)
    {
        $this->data = $data;

        $this->listdata['columns'] = array(array("label"
=> "ID", "type" => "data"), array("label" => "Analizador",
"type" => "data"), array("label" => "Pregunta", "type" =>
"data"), array("label" => "Respuesta", "type" => "data"),
array("label" => "Feedbacks", "type" => "links", "links" =>
array(array("type" => "", "label" => "feedbacks", "url" =>
"JavaScript:showPage('ana_feedbacks', { pregunta:[ID]
}))")), array("label" => "Probar", "type" => "links",
"links" => array(array("type" => "", "label" => "probar",
"url" => "JavaScript:showPage('ana_test', { pregunta:[ID]
}))")), array("label" => "Acciones", "type" => "links",
"links" => array(array("type" => "editrow", "label" => "",
"url" => ""), array("type" => "deleterow", "label" => "",
"url" => "")))));
    }

    private function _loadList()
    {
        global $_db;

        $this->json_output['title'] = 'Preguntas';
        $this->json_output['btn_add_label'] = 'nueva
pregunta';
    }
}

```

```

        $this->json_output['msg_norows'] = 'No hay
preguntas.';
        $this->json_output['flags'] = array("" => true);
        $this->json_output['columns'] = $this-
>listdata['columns'];

        foreach($_db->fetchAll('SELECT p.rowid,
analizador_nombre, preg_texto, preg_resp FROM
analizador_pregunta p, analizador a WHERE preg_analizador =
analizador_id ORDER BY analizador_nombre, preg_texto',
array()) as $row) $this->json_output['rows'][] =
array('data' => array($row["rowid"],
$row["analizador_nombre"], $row["preg_texto"],
$row["preg_resp"], $row[""], $row[""], $row[""]), 'id' =>
$row['rowid']);

        $this->rowid = $row['rowid'];

    }

    private function _loadForm($title, $rowid = '',
$readonly = false, $action = 'form_save')
    {
        global $_db;

        $this->json_output['fields'] = array(array("id"
=> "analizador", "label" => "Analizador", "info" => "",
"type" => "droplist", "group" => "Datos", "group_id" =>
"datos", "flags" => array("required"), "values" =>
array(array("value" => "1", "label" => "Reflexion"))),
array("id" => "pregunta", "label" => "Pregunta", "info" =>
"", "type" => "targetext", "group" => "Datos", "group_id"
=> "datos", "flags" => array("required")), array("id" =>
"respuesta", "label" => "Respuesta correcta", "info" => "",
"type" => "targetext", "group" => "Datos", "group_id" =>
"datos", "flags" => array("required")));
        $this->json_output['title'] = 'Preguntas:
'.$title;
        $this->json_output['readonly'] = $readonly;
        $this->json_output['action'] = $action;
        $this->json_output['help'] = '';
        $this->json_output['flags'] = array("" => true);

        if ($rowid)
        {
            $this->json_output['rowid'] = $rowid;
            $this->json_output['data'] = $_db-
>getOne('SELECT preg_texto pregunta, preg_analizador || "|"
|| analizador_nombre as analizador, preg_resp respuesta

```

```

FROM analizador_pregunta p, analizador WHERE p.rowid = :ID
AND preg_analizador = analizador_id', array(':ID' =>
$rowid));
        $this->rowid = $rowid;
    }

    }

    private function _saveForm()
    {
        global $_db;

        foreach($this->data['values'] as $v)
        $values[$v['id']] = $v['value'];

        $data = array('preg_analizador' =>
        $values['analizador'], 'preg_texto' => $values['pregunta'],
        'preg_resp' => $values['respuesta']);

        if ($this->data['rowid'] == null)
            $_db->insert('analizador_pregunta', $data,
            'rowid');
        else
            $_db->update('analizador_pregunta', 'rowid',
            $this->data['rowid'], $data);

        $this->rowid = $_db->last_insert_id;
    }

    private function _deleteForm()
    {
        global $_db;

        $_db->delete('analizador_pregunta', 'rowid',
        $this->data['rowid']);

        $this->rowid = $this->data['rowid'];
    }

    function process()
    {
        global $_db, $_app;

        switch($this->data['action'])
        {
            case 'list_load':
            {
                $this->_loadList();
                break;
            }
        }
    }

```

```

        case 'form_add':
        {
            $this->_loadForm('Crear nueva pregunta');
            break;
        }
        case 'form_view':
        {
            $this->_loadForm('', $this->data['rowid'],
true, 'form_view');
            break;
        }
        case 'form_edit':
        {
            $this->_loadForm('Editar pregunta', $this-
>data['rowid']);
            break;
        }
        case 'form_delete':
        {
            $this->_loadForm('Eliminar pregunta', $this-
>data['rowid'], true, 'form_drop');
            break;
        }
        case 'form_save':
        {
            $this->_saveForm();
            break;
        }
        case 'form_drop':
        {
            $this->_deleteForm();
            break;
        }
        }

        if ($this->json_output) $this->output =
json_encode($this->json_output);

        if ($this->output) die($this->output);
    }
}

?>

```

## **ANEXO 7**



# UNA MUESTRA DEL MATERIAL RECOPIADO

PRE-TRATAMIENTO-SEPTIEMBRE 2013

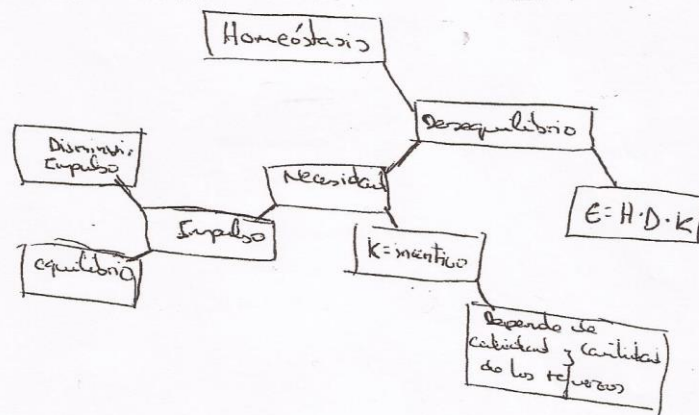
Nombre y apellidos: MA Galan (S.S.R)

Escribe lo que recuerdes durante 10 minutos:

Nuestro organismo tiene unos sistemas reguladores que hacen posible tener un equilibrio hormonal, del azúcar y la temperatura. Por ejemplo si estamos en una cámara refrigeradora los capilares sanguíneos se contraen y el cuerpo tiembla y si estamos en una sauna los vasos sanguíneos se dilatan y nuestro cuerpo empieza a sudar. Esto hace que nuestro cuerpo mantenga nuestra temperatura corporal en equilibrio. La homeostasis fisiológica se encarga de corregir las desviaciones del estado normal y mantener un equilibrio interno.

Hall quiere explicarnos lo que sucede con nuestro cuerpo cuando se produce un desequilibrio tanto en el reino animal como en el vegetal. Se produce una necesidad, aparece un impulso que intenta que nuestro cuerpo este de nuevo en equilibrio y que el impulso merezca una necesidad. Dice que las fuerzas de necesidad es  $E = H \times D \cdot K$  de habito por el impulso y por el incentivo que es el desire de persistencia hacia la meta y que depende de los refuerzos y la calidad que tengan.

Elabora un mapa conceptual del tema:



Expresa tu grado de confianza en el aprendizaje de 0 a 10: 7

Responde a las siguientes cuestiones.

1. El conocimiento del tema:
  1. ☐ lo he manejado a través de palabras
  2. ☒ lo he manejado a través de imágenes
  3. ☐ lo he manejado a través de ideas
  4. ☐ lo he manejado sin más, sin saber bien a través de qué
2. Cuando he tenido que recordar el tema:
  1. ☒ sé lo que he tenido que hacer para luego recordarlo
  2. ☐ sabía si era fácil o difícil recordarlo
  3. ☐ he ido rellenando las lagunas que tenía al recordarlo
  4. ☐ lo he recordado sin más, sin haber hecho nada de particular
3. Cuando he recordado algún aspecto del tema:
  1. ☒ he seleccionado y he puesto en claro los objetivos de mi recuerdo
  2. ☐ he controlado el proceso de mi recuerdo
  3. ☐ he evaluado mi eficacia al recordar
  4. ☐ con recordar he tenido bastante
4. Cuando recuerdo:
  1. ☐ mi recuerdo abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad recordada
  2. ☒ puedo mejorar mi recuerdo dándome cuenta de cómo recuerdo
  3. ☐ distingo entre mi propio recuerdo y lo que tengo que recordar
  4. ☐ simplemente lo recuerdo, sin darle más vueltas
5. Cuando me he puesto a atender al tema:
  1. ☒ me he dado cuenta de haberme concentrado en algún punto del mismo
  2. ☐ me he dado cuenta del esfuerzo que he hecho para mantener la atención
  3. ☐ me he dado cuenta de que he podido atender a dos cosas a la vez
  4. ☐ simplemente he atendido y con eso me ha bastado
6. Cuando he prestado atención a algún aspecto del tema:
  1. ☒ he seleccionado y he puesto en claro mis objetivos al atender
  2. ☐ he controlado el proceso de mi atención
  3. ☐ he evaluado mi eficacia al atender
  4. ☐ con atender he tenido ya bastante
7. Cuando atiendo:
  1. ☐ mi atención abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad aparente
  2. ☒ soy capaz de mejorar mi atención dándome cuenta de cómo atiendo
  3. ☐ distingo entre lo que hago al atender y la realidad, pero al final tiendo a ser lo mismo
  4. ☐ atiendo y no me planteo nada más

8. En el caso de haber tenido conocimientos previos acerca del tema:

1. ☐ me han facilitado el pensar, recordar o atender acerca del mismo
2. ☐ me han ayudado a utilizar mejores estrategias
3. ☐ me han permitido reflexionar mejor sobre el tema
4. ☐ los he aplicado y no me he planteado más cuestiones

9. Cuando tengo dificultades para atender, recordar o pensar:

1. ☐ creo que no tengo habilidad para ello
2. ☐ busco la causa en las circunstancias externas
3. ☒ dedico a ello un esfuerzo mayor
4. ☐ me parece natural y no hago nada de particular

10. Cuando tengo que atender, recordar o pensar:

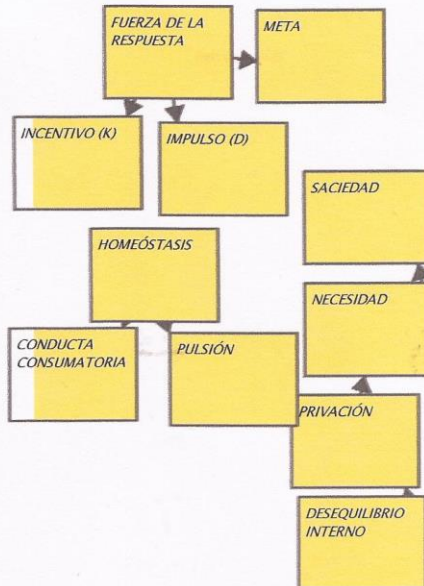
1. ☐ me siento interesado/a en ello por sí mismo
2. ☒ sólo lo hago si con ello tengo que conseguir algo
3. ☐ me aburre y me canso enseguida
4. ☐ lo hago directamente sin preguntarme por qué

1. La validez interna de un experimento exige: (a) la verificabilidad de sus partes; (b) la relación entre las variables; (c) su coherencia.
2. La variable independiente es controlada por: (a) el sujeto experimental; (b) la variable dependiente; (c) el experimentador.
3. En la hipótesis alternativa, si varía una condición: (a) los resultados varían; (b) los resultados no cambian; (c) depende de las condiciones de la prueba.
4. Los estudiantes que realizan el ejercicio a temperatura normal forman el: (a) grupo experimental; (b) grupo de referencia; (c) grupo de control.
5. Las variables extrañas en un experimento pueden controlarse: (a) repitiendo el experimento; (b) incentivando a los sujetos experimentales; (c) dividiendo a los sujetos en grupos.
6. La validez externa permite: (a) generalizar los resultados a otros sujetos y situaciones; (b) aislar los resultados de la variable independiente; (c) restringir los resultados de la variable dependiente.
7. Los grupos experimentales y de control difieren solo en: (a) el carácter aleatorio de la muestra; (b) la cantidad o nivel de la variable independiente; (c) la cantidad de la muestra.
8. Un experimento es: (a) una observación imparcial; (b) una observación controlada; (c) una observación hipotética.
9. La variable independiente es: (a) la causa de la variable dependiente; (b) el efecto de la variable dependiente; (c) el reflejo de la variable dependiente.
10. En la hipótesis nula los cambios realizados en las condiciones: (a) alteran el resultado de la prueba; (b) incrementan el resultado de la prueba; (c) no cambian el resultado de la prueba.
11. El rendimiento en los exámenes a diferentes temperaturas sería medido por: (a) la variable independiente; (b) la variable experimental; (c) la variable dependiente.
12. En una muestra estratificada: (a) los sujetos se escogen al azar; (b) los sujetos se agrupan en función de su porcentaje en la población total; (c) los sujetos se agrupan en capas.
13. En una muestra al azar, cada sujeto: (a) es extraído a suerte; (b) tiene igual oportunidad de ser elegido; (c) es escogido por casualidad.
14. Un ejemplo de hipótesis nula sería que: (a) los cambios de temperatura no afectan a las puntuaciones de los estudiantes; (b) los cambios de temperatura afectan a las puntuaciones de los estudiantes; (c) los cambios de temperatura son manipulables.
15. Las condiciones para controlar variables extrañas han de ser: (a) diferentes; (b) simétricas; (c) idénticas.
16. Entre la variable independiente y la dependiente se pueden establecer relaciones de: (a) jerarquía; (b) descriptividad; (c) causa-efecto.
17. Un experimento sirve para: (a) interpretar las diversas opiniones; (b) comprobar la verdad de las predicciones; (c) respaldar las propias creencias.
18. Un ejemplo de variable dependiente en un experimento de conducta animal sería medir: (a) la velocidad de una rata en un pasadizo ante la presencia de más cantidad de incentivo; (b) la sensación de hambre de una rata siempre en las mismas condiciones; (c) los pensamientos de la rata para orientarse.
19. En un experimento se derivan conclusiones a partir de: (a) un axioma; (b) una hipótesis; (c) un teorema.
20. Una muestra consiste en: (a) un modelo a imitar; (b) un muestreo de cosas; (c) un conjunto de individuos sujetos a la situación experimental.
21. Para aceptar o rechazar una hipótesis, un investigador puede: (a) manipular la variable dependiente; (b) manipular la variable independiente; (c) formular una nueva hipótesis.
22. Un ejemplo de validez interna sería: (a) la relación entre el calor y el sudor de los sujetos; (b) la relación entre el calor y la altura de los sujetos; (c) la relación entre el calor y el frío.
23. Un tipo de hipótesis es: (a) hipótesis alternativa; (b) hipótesis empírica; (c) hipótesis vacía.
24. Las respuestas de los grupos de control y experimental se miden: (a) mediante una variable dependiente distinta; (b) a través de la misma variable dependiente; (c) mediante una variable independiente.



25. En Psicología, la variable dependiente puede reflejar a veces: (a) la opinión subjetiva del experimentador; (b) una certeza absoluta; (c) una conducta.
26. Podemos calificar a la Psicología actual de una: (a) creencia; (b) ciencia experimental; (c) pseudociencia.
27. Un ejemplo de variable extraña en un experimento sobre el rendimiento de los alumnos en un examen podría ser: (a) el color de sus ojos; (b) su grado de timidez; (c) el que haya un fuerte ruido en la clase contigua.
28. En la ciencia experimental se suele realizar trabajo: (a) en el laboratorio; (b) introspectivo; (c) incontrolado.
29. Para hacer ciencia se necesita seguir: (a) una tradición; (b) un método; (c) unas valoraciones propias.
30. Comprobar en un experimento equivale a: (a) suponer; (b) refutar; (c) verificar.

### Mapa conceptual



NOELIA MARTÍNEZ  
(S)

## La teoría de la reducción del impulso de C.Hull

Todos los organismos poseen mecanismos reguladores que funcionan como termostatos para mantener la producción hormonal, la concentración de azúcar en la sangre o la temperatura corporal. Por ejemplo, en los seres humanos la temperatura normal del cuerpo es de 36°C y se defiende contra las alteraciones por medio de varios mecanismos homeostáticos. Si entramos en una cámara refrigeradora, nuestro cuerpo se defiende contrayendo los capilares sanguíneos, temblando, etc. En cambio, si entramos en una sauna, la temperatura del cuerpo se defiende con la dilatación de los vasos sanguíneos y el sudor. Estos mecanismos son muy eficaces, ya que la temperatura corporal no cambia aunque existan grandes variaciones en la temperatura ambiental.

La homeóstasis fisiológica es la tendencia de todos los organismos a corregir las desviaciones del estado normal y mantener el equilibrio interno.

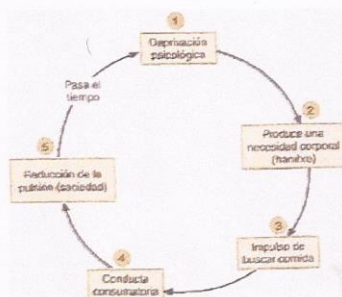
Clark Hull, en su obra *Principios de la conducta*, expone su teoría de la reducción del impulso, basada en el concepto de homeóstasis, para explicar el estado biológico de los organismos cuando se produce una necesidad: comida, agua, sexo, sueño, etc. El desequilibrio interno crea un estado de necesidad, que hace aparecer el "impulso" que mueve al organismo para satisfacer esa necesidad. La pulsión es una reserva de energía compuesta de las alteraciones fisiológicas presentes en cada momento.

La fuerza de la respuesta (E) es una función del hábito (H) y del impulso (D, de drive, "energía" en inglés) o elemento activador de la respuesta. Ambos se multiplican para determinar la conducta manifiesta o la acción. Posteriormente Hull se vio forzado a añadir un tercer elemento, el incentivo (K), el elemento de persistencia hacia la meta, que depende de la cantidad y calidad de los refuerzos.

Toda motivación depende de estas variables:  $E = H \times D \times K$ . Es decir; la fuerza de la respuesta depende de multiplicar el hábito por el impulso y por el incentivo.

Pongamos un ejemplo. Supongamos que tenemos hambre. Se produce una necesidad a causa de un desequilibrio homeostático (privación de comer), este desequilibrio produce un impulso a iniciar la conducta de buscar comida, que reduce el impulso y termina el estado de necesidad. El impulso depende del estado de privación y el incentivo nos hace dirigirnos a una conducta concreta y determinada.

Hull considera que la necesidad fisiológica no basta para explicar la dinámica de la motivación, también es importante el atractivo de meta buscado para reducir esa necesidad. A CONTINUACIÓN INSERTAMOS EL CÍRCULO DE NECESIDADES DE HULL.



## Aprendizaje

- Conocimientos previos:

No se nada.

- Block de notas:

Hull pensaba que mediante el impulso se intenta satisfacer una necesidad como el hambre o el sexo. La fuerza de la respuesta es la función de los hábitos y el impulso. Hull se vio forzado a introducir también de la importancia de la meta. Por lo tanto, la fuerza de la respuesta es el hábito por el impulso por la meta. Esto quiere decir que la meta también es muy importante. Por otro lado tenemos que decir que nuestro organismo tiene mecanismos que nos defienden de agentes externos como la temperatura, por ejemplo si estamos en un congelador nuestro cuerpo empieza a temblar pero si entramos en una sauna, empezamos a sudar. Esto quiere decir que siempre tenemos la misma temperatura interna y nos adaptamos a la exterior. La temperatura de un humano normalmente es de unos 36 grados. También hay señalar el círculo creado por Hull de: 1. La necesidad 2. el impulso de buscar comida 3. encontrarla 4. Satisfacerla y vuelta a empezar. También en su obra Estudios sobre la conducta habla sobre los mecanismos homeostáticos.

- Juicio de confianza: 80%

- Juicios metacognitivos (puntuación): 7

- Juicios metacognitivos (preguntas y respuestas):

1. El conocimiento del tema
  - lo he manejado a través de palabras
  - lo he manejado a través de imágenes
  - lo he manejado a través de ideas
  - lo he manejado sin más, sin saber bien a través de qué
2. Cuando he tenido que recordar el tema
  - sé lo que he tenido que hacer para luego recordarlo
  - sabía si era fácil o difícil recordarlo
  - he ido rellenando las lagunas que tenía al recordarlo
  - lo he recordado sin más, sin haber hecho nada de particular
3. Cuando he recordado algún aspecto del tema
  - he seleccionado y he puesto en claro los objetivos de mi recuerdo
  - he controlado el proceso de mi recuerdo
  - he evaluado mi eficacia al recordar
  - con recordar he tenido bastante
4. Cuando recuerdo
  - mi recuerdo abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad recordada
  - puedo mejorar mi recuerdo dándome cuenta de cómo recuerdo
  - distingo entre mi propio recuerdo y lo que tengo que recordar
  - simplemente lo recuerdo, sin darle más vueltas
5. Cuando me he puesto a atender al tema
  - me he dado cuenta de haberme concentrado en algún punto del mismo
  - me he dado cuenta del esfuerzo que he hecho para mantener la atención
  - me he dado cuenta de que he podido atender a dos cosas a la vez
  - simplemente he atendido y con eso me ha bastado
6. Cuando he prestado atención a algún aspecto del tema
  - he seleccionado y he puesto en claro mis objetivos al atender
  - he controlado el proceso de mi atención

http://

:8

- he evaluado mi eficacia al atender
- con atender he tenido ya bastante
- 7. Cuando atiendo
  - mi atención abre nuevas posibilidades para ir más allá de la realidad aparente
  - soy capaz de mejorar mi atención dándome cuenta de cómo atiendo
  - distingo entre lo que hago al atender y la realidad, pero al final tienden a ser lo mismo
  - atiendo y no me planteo nada más
- 8. En el caso de haber tenido conocimientos previos acerca del tema
  - me han facilitado el pensar, recordar o atender acerca del mismo
  - me han ayudado a utilizar mejores estrategias
  - me han permitido reflexionar mejor sobre el tema
  - los he aplicado y no me he planteado más cuestiones
- 9. Cuando tengo dificultades para atender, recordar o pensar
  - creo que no tengo habilidad para ello
  - busco la causa en las circunstancias externas
  - dedico a ello un esfuerzo mayor
  - me parece natural y no hago nada de particular
- 10. Cuando tengo que atender, recordar o pensar
  - me siento interesado/a en ello por sí mismo
  - sólo lo hago si con ello tengo que conseguir algo
  - me aburre y me canso enseguida
  - lo hago directamente sin preguntarme por qué





## Alumno: Datos del rendimiento

Datos	
Libre de notas	Hull pensaba que mediante el impulso se intenta satisfacer una necesidad como el hambre o el sexo. La fuerza de la respuesta es la función de los hábitos y el impulso. Hull se vio forzado a introducir también de la importancia de la meta. Por lo tanto, la fuerza de la respuesta es el hábito por el impulso por la meta. Esto quiere decir que la meta también es muy importante.
Conceptos encontrados en el bloque de notas	Concepto1, Concepto10, Concepto11, Concepto12, Concepto29, Concepto3, Concepto5, Concepto6, Concepto8, Concepto19, Concepto23, Concepto24
Tiempo de estudio (seg)	900
Juicio de confianza	8
Juicio Metacognitivo	7
Evaluación	8
Calificación del Usaje	8
Calificación de la Simulación	800

PSICO-4-BLOQUE-4 (Evaluación)

**-Bloc de notas:**

Hull pensaba que mediante el impulso se intenta satisfacer una necesidad como el hambre o el sexo. La fuerza de la respuesta es la función de los hábitos y el impulso. Hull se vio forzado a introducir también de la importancia de la meta. Por lo tanto, la fuerza de la respuesta es el hábito por el impulso por la meta. Esto quiere decir que la meta también es muy importante.

Por otro lado tenemos que decir que nuestro organismo tiene mecanismos que nos defienden de agentes externos como la temperatura, por ejemplo si entramos en un congelador nuestro cuerpo empieza a temblar pero si entramos en una sauna, empezamos a sudar, Esto quiere decir que siempre tenemos la misma temperatura interna y nos adaptamos a la exterior. La temperatura de un humano normalmente es de unos 36 grados.

También hay señalar el círculo creado por Hull de: 1.La necesidad 2 el impulso de buscar comida 3. encontrarla 4,Satisfacerla y vuelta a empezar.

También en su obra Estudios sobre la conducta habla sobre los mecanismos homeostáticos.

**-Conceptos encontrados en Bloc de notas:** Concepto1, Concepto10, Concepto11, Concepto12, Concepto29, Concepto3, Concepto5, Concepto6, Concepto8, Concepto19, Concepto23, Concepto24

**-Tiempo de estudio (seg):** 900

**-Juicios de confianza:** 8

**-Juicios Metacognitivos:** 7

-Evaluación: 8

-Puntuación del Juego: 0

-Puntuación de la Simulación: 590

## TEST DE SEGUIMIENTO-ABRIL 2014

Nombre y apellidos: *Noel Martínez Algara*  
IES "Francisco Giner de los Ríos"  
Curso y grupo: *2º E*  
Fecha: *11/2/14*

1. Hull se vio forzado a añadir un tercer elemento a su teoría: (a) los refuerzos; (b) el incentivo; (c) el impulso.
2. Supongamos que tenemos hambre. Se produce: (a) una reducción del impulso; (b) un impulso a iniciar la conducta; (c) una necesidad a causa de un desequilibrio homeostático.
3. Hull piensa que para explicar la motivación no basta con la necesidad fisiológica sino que también hay que añadir: (a) el atractivo de la meta; (b) la pulsión; (c) la oportunidad.
4. Hull escribió: (a) *Un sistema de conducta*; (b) *Fundamentos del aprendizaje*; (c) *Principios de la conducta*.
5. El incentivo es: (a) el elemento que produce una necesidad corporal; (b) el elemento activador de la respuesta; (c) el elemento de persistencia hacia la meta.
6. Si entramos en una sauna, la temperatura del cuerpo se defiende con: (a) la piel de gallina; (b) el sudor; (c) temblores involuntarios.
7. Todos los organismos poseen mecanismos reguladores que funcionan como: (a) balanzas; (b) termostatos; (c) sifones.
8. El impulso depende: (a) de la homeostasis; (b) del estado de privación; (c) del desequilibrio.
9. La pulsión es: (a) una reserva de energía; (b) un estado de necesidad; (c) una privación.
10. El hábito puede medirse por: (a) la calidad de la comida; (b) la cantidad de los refuerzos; (c) el número de ensayos.
11. La temperatura corporal: (a) se altera con las variaciones del entorno; (b) es inalterable; (c) no cambia aunque se regula por mecanismos homeostáticos.
12. El desequilibrio interno, en primer lugar: (a) hace aparecer el hábito; (b) crea un estado de necesidad; (c) sacia la necesidad.
13. El incentivo depende de: (a) la pulsión; (b) la cantidad y calidad de los refuerzos; (c) la privación.
14. Nuestro cuerpo no se defiende del frío: (a) dilatando los vasos sanguíneos; (b) temblando; (c) contrayendo los vasos sanguíneos.
15. La teoría de Hull consiste en: (a) actuar de forma intencional; (b) analizar la conducta del sujeto; (c) reducir la tensión del organismo.
16. La fuerza de la respuesta no es: (a) la desviación del estado normal del organismo; (b) una función del hábito y del impulso; (c) el producto del incentivo, el impulso y el hábito.

17. En el círculo de necesidades de Hull el primer paso es: (a) la necesidad corporal; (b) la privación psicológica; (c) el impulso.
18. Un ejemplo de una necesidad es: (a) la comida; (b) el sueño excesivo; (c) las prisas.
19. La reducción de la pulsión suele conllevar: (a) equilibrar la cantidad de estímulo recibido; (b) la saciedad del organismo; (c) aumentar la necesidad de incentivo.
20. La fuerza de la respuesta depende de: (a) la suma de tres variables; (b) la ponderación de tres variables; (c) el producto de tres variables.
21. Hull se refiere al impulso como: (a) "impetus"; (b) "drive"; (c) "impulse".
22. La homeostasis fisiológica es: (a) una tendencia a mantener el equilibrio interno de un organismo; (b) una tendencia a corregir el estado normal; (c) una tendencia a la privación.
23. El nombre de pila de Hull es: (a) Clark; (b) Clarence; (c) Carl.
24. Toda motivación depende del incentivo, el hábito y (a) la respuesta; (b) el impulso; (c) el refuerzo.
25. Podemos calificar a Hull de autor: (a) estructuralista; (b) cognitivista; (c) conductista.
26. Un desequilibrio homeostático causa: (a) una necesidad; (b) un exceso; (c) un impulso.
27. La teoría de Hull basa su nombre en: (a) la eliminación del estado de necesidad; (b) la reducción del impulso; (c) la reducción del incentivo.
28. La variable incentivo se designa con la letra (a) "K"; (b) "H"; (c) "I".
29. La reducción de la pulsión implica una conducta: (a) insaciable; (c) consumatoria; (b) saciable.
30. La homeostasis fisiológica es un proceso: (a) eterno; (b) cíclico; (c) irreversible.



Nombre y apellidos: Nelia Matinez Mayore.

Escribe lo que recuerdes durante 10 minutos:

La homeostasis es definida por Hull como: una tendencia a mantener el equilibrio interno del individuo; este teorico de este filosofo conductista es ciclico y se basa entorno a un proceso ciclico en el que este presente el habito el impulso y el incentivo.

Este teorico se basa en su vez, en la respuesta que de nuestro organismo ante un determinado estado externo. Por ejemplo, si tenemos frio; nuestros vasos sanguíneos se encogen; si tenemos calor; sudamos, etc.

Es decir, nuestro cuerpo actúa para mantener un equilibrio dentro de él y Hull se encarga de analizar la conducta que el sujeto sufre ante estos cambios externos. Si nosotros tenemos una necesidad; (hambre); creamos un estado de necesidad; que da lugar a un impulso, para poder satisfacer nuestra necesidad corporal.

Elabora un mapa conceptual del tema:

También tenemos que tener en cuenta el incentivo; es decir si la finalidad es atractiva: No es lo mismo tener hambre y que de comer tengas tu comida favorita; que tener hambre y que de comer hagas verdura. Este estado de necesidad depende por ello de la motivación y de ~~de~~ el atractivo de la meta.



## **ANEXO 8**

## INSTRUCCIONES BÁSICAS PARA MANEJAR LAS DOS VERSIONES DE PSICO-A

### VERSIÓN DE ESCRITORIO (Windows XP/ Windows 7)

1. Descargar la carpeta en el escritorio del ordenador. Dentro de la carpeta se encontrará un botón “INICIAR”. Hay que darle un doble “clic”.
2. Al ejecutar “INICIAR”, se abre una ventana de comandos (con fondo negro, estilo MS-Dos). No cerrarla, simplemente minimizarla o no hacer caso de ella. Aparece ya la entrada al Sistema en forma de la web local: <http://localhost:8048/>. Si se cierra la web local, se da de nuevo a “INICIAR” para volver a cargarla.
3. El nombre de usuario para entrar en el “front-end” es alumno. La contraseña es nata.
4. El nombre de usuario para entrar en el “back-end” es profe. La contraseña es nata.

### VERSIÓN DE INTERNET

1. Usando los mismos nombres y contraseñas, se puede entrar a través de <http://psico-a.org/secure/login/>. También buscando en GOOGLE, “psico-a.org”, puesto que el Sistema está alojado en un dominio propio o a través del blog <http://artificial-socialcognition.blogspot.com.es/2013/07/psico-aeu.html>.
2. Los nombres de usuario y la contraseña son idénticos a la versión de escritorio.
3. El navegador que otorga la mejor funcionalidad al Sistema es OPERA, en cualquiera de sus versiones a partir de la 12. CHROME (a partir de su versión 9) y FIREFOX (a partir de su versión 8.0) funcionan pero la calidad es menor. EXPLORER funciona a partir de la versión 9 pero no da el rendimiento más adecuado.

### ALGUNOS CONSEJOS BÁSICOS GENERALES

1. Cuando se introduce el nombre de un alumno, dejar en blanco el espacio dedicado a la contraseña. Ya está introducida la contraseña del alumno en el “back-end”. No introducir ningún nombre nuevo a no ser que, previamente, se introduzca el nombre y su contraseña en el “back-end”.
2. Al ensamblar las ecuaciones de los “Conceptos” en el “back-end”, no dejar ningún espacio en blanco entre el término “lista” y el número asignado. Si se



introduce un nuevo concepto, iniciar de nuevo el Sistema o usar el nombre de otro alumno en la Ficha de identificación.

3. El Modo de Evaluación solo aparece reflejado cuando, una vez finalizada la sesión, el alumno vuelve a entrar al Sistema.